

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Pokročilá emisní analýza vznětových a zážehových motorů

Advanced Emission Analysis of Diesel and Petrol Engines

Student:

Bc. Jindřich Kyjovský

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jindřich Kyjovský**

Studijní program: N3943 Mechatronika

Studijní obor: 3906T007 Automobilová elektronika

Téma: **Pokročilá emisní analýza vznětových a zážehových motorů**
Advanced Emission Analysis of Diesel and Petrol Engines

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte úvodní rešerši z oblasti technologie paliv vznětových, resp. zážehových motorů, včetně rozboru předpokládaného emisního složení výfukových plynů daných spalovacími motorů a legislativou stanovených limitů.
2. Proveďte základní emisní analýzu vybraných typů vozidel s různou technikou řízení motoru (vznětové a zážehové).
3. Na základě doporučení vedoucího specifikujte možné kritické chybové stavy vznětového, resp. zážehového motoru, mající zásadní vliv na složení emisí výfukových plynů. Prakticky analyzujte teoreticky rozebrané kritické chybové stavy (např. vytvořte vratné disfunkce na vedení vzduchu a paliva, snímačích a akčních členech a řídicích jednotkách).
4. Proveďte pokročilou emisní analýzu moderních vozidel se vznětovým motorem s/bez technologie filtrace pevných částic. Na základě výsledků uveďte argumenty pro a proti užívání této technologie.

Seznam doporučené odborné literatury:

- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
- VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
- ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
- ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
- RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
- BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2013

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

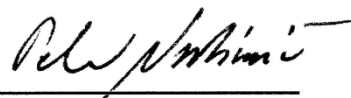
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Noskiewiĉ, CSc.
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

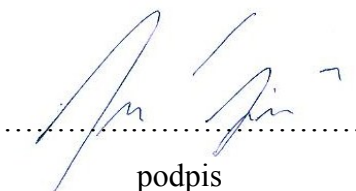
V Ostravě dne 19.5.2014


.....
Bc. Jindřich Kyjovský

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne **19.5.2014**



podpis

Jméno a příjmení autora práce: **Bc. Jindřich Kyjovský**

Adresa trvalého pobytu autora práce: **Čemenka 3248 / 1A, 747 21 Kravaře**

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KYJOVSKÝ, J. *Pokročilá emisní analýza vznětových a zážehových motorů: diplomová práce*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014, 51s Vedoucí práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Tato práce se zabývá teoretickým rozбором emisních složek a praktickým měřením exhalací zážehových a vznětových motorů. U zážehových motorů jsou porovnávány vozidla s/bez katalyzátoru. U vznětových motorů jsou porovnávány kouřivosti vozidel s/bez DPF. Na měřených vozidlech jsou způsobovány různé disfunkce motoru, které mohou mít vliv na exhalace a v běžném provozu mohou nastat. V pokročilé emisní analýze jsou zkoumány velikosti pevných částic vznětových motorů, které vznikají procesem spalování pro různé systémy vstřikování s/bez filtrace DPF.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KYJOVSKÝ, J. *Advanced Emission Analysis of Diesel and Petrol Engines: Diploma Thesis*. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, 2014, 51p. Thesis head: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

This diploma thesis deals with theoretical analysis of emission components and practical measurements of petrol and diesel engines emissions. For petrol engines, vehicles with and without catalyst are compared. For diesel engines, vehicles with and without DPF are compared by volume of smoke. Measured vehicles suffer from a variety of motor dysfunctions, which may affect the emission during normal behavior. In advanced emission analysis, there are investigated sizes of solid particles from diesel engines, which occurs for various injection systems with or without DPF filtration.

KLÍČOVÁ SLOVA

emise, exhalace, emisní norma, emisní složky, DPF, katalyzátor, kouřivost, lambda, opacimetr, pevné částice, výfukové plyny

KEYWORDS

emission, exhalation, emission standard, emission component, DPF, catalyst, smoke, lambda, opacimeter, solids, exhaustfumes

Seznam použitých symbolů a zkratek

Al	- hliník
C	- uhlík
CO	- oxid uhelnatý
CO ₂	- oxid uhličitý
det	- detektor
DPF	- filtr pevných částic
EGR	- recirkulace spalin
HC	- uhlovodíky
H ₂ O	- voda / vodní páry
HV	- urychlovací napětí
N ₂	- dusík
NO _x	- oxidy dusíku
O ₂	- kyslík
Pb	- olovo
PM	- saze
S	- síra
SE	- sekundární elektrony
SO ₂	- oxid siřičitý
WD	- vzdálenost vzorku

k	- součinitel absorpce	[m ⁻¹]
l	- délka optické dráhy	[m]
λ	- lambda	[-]

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Emisní složky	9
3 Emisní analýza vozidel se zážehovými motory	12
3.1 Měření se všemi funkčními systémy	14
3.2 Měření při ucpaném sacím traktu	15
3.3 Měření při výpadku vstřikovací trysky	17
3.4 Měření při špatné funkci zapalovací svíčky	20
3.5 Měření při poruše snímače klepání	22
3.6 Měření při poruše snímače teploty chladicí kapaliny.....	24
3.7 Měření při odpojené lambda sondě před a za katalyzátorem	27
4 Emisní analýza vozidel se vznětovými motory	29
4.1 Kouřivost vozidla bez závad řízení motoru	30
4.2 Měření kouřivosti při blokadě sacího traktu	31
4.3 Kouřivost při poruše měření hmotnosti vzduchu	32
4.4 Kouřivost při netěsnosti na vedení vysokotlakého vzduchu	34
4.5 Kouřivost vozidla při nefunkčním vstřikovači	35
4.6 Kouřivost při mechanicky zaslepeném EGR ventilu	36
4.7 Kouřivost při minimálním plnicím tlaku turbodmychadla.....	38
4.8 Kouřivost při maximálním plnicím tlaku turbodmychadla	39
5 Pokročilá emisní analýza vznětových motorů	41
6 Závěr.....	46
Seznam použité literatury:	50
Seznam příloh:.....	51

1 Úvod

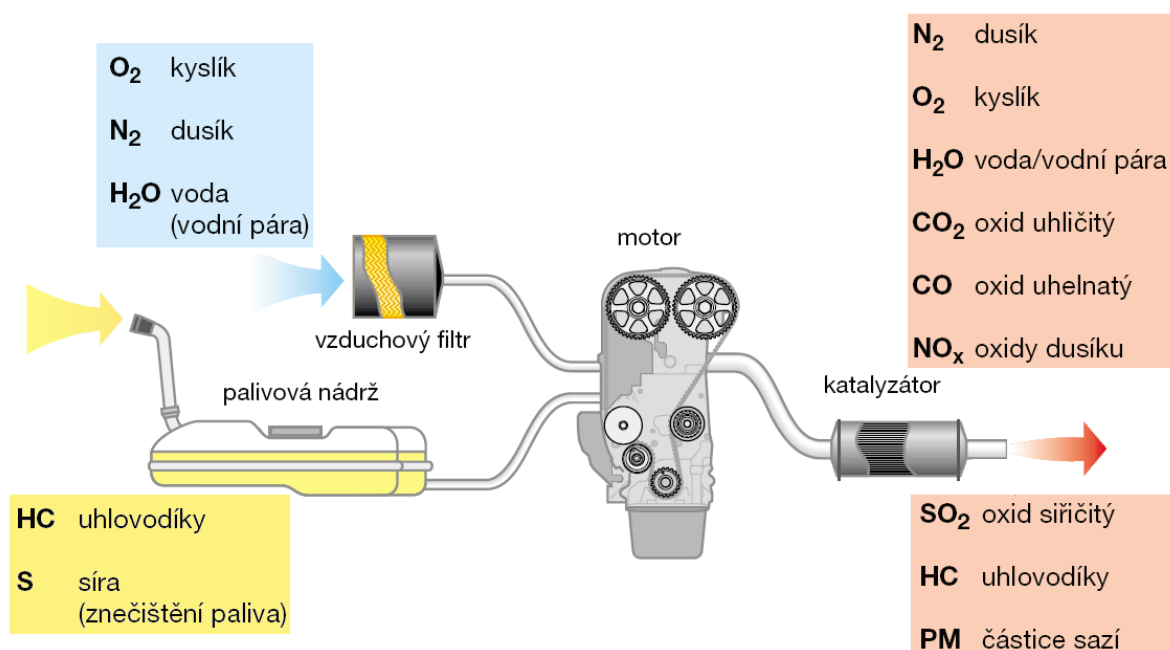
V dnešní době jsou moderní vozidla vybavena systémy, které mají za úkol snižovat emise vozidel. Jedná se o hardwarové i softwarové prostředky. Některé systémy snižující emise jsou často záměrně odstraňovány z důvodu zvýšení výkonu vozidla, snížení spotřeby, popřípadě snížení nákladu za potřebnou údržbu či opravu na těchto systémech. Mezi širokou veřejností a automechaniky kolují informace, že katalyzátory a DPF jsou na vozidle další zbytečnou součástí a tak jejich odstranění nemá na emise žádný negativní dopad. Jaký však má dopad na emise odstranění těchto systému, popřípadě závada na jednom z těchto systému má objasnit tato práce.

Teoretická část práce se zabývá rozбором vstupujících a vystupujících emisních složek procesu spalování vznětových a zážehových motorů. Další část práce, která tvoří její převážnou část, je věnována praktickému měření. V první kapitole praktické části jsou měřeny dvě vozidla se zážehovým motorem, kde na jednu z měřených vozidel bude mechanicky odstraněn katalyzátor. V druhé kapitole praktické části je měřena kouřivost dvou vozidel se vznětovým motorem, kde na jednom z vozidel bude mechanicky odstraněn filtr pevných částic (DPF) a katalyzátor. Na měřených vozidlech jsou záměrně způsobována nejrozličnější disfunkce motoru, které mohou v běžném provozu nastat a mohou mít negativní vliv na exhalace. Veškeré měřené hodnoty jsou zaznamenávány do tabulek a následně popsány. Poslední kapitola práce obsahuje pokročilou emisní analýzu vznětových motorů s/bez DPF pro různé systémy vstřikování paliva (např. Common-Rail, Pumpe-Duse). Při měření je odebrán vzorek pevných částic z exhalací a poté jsou zkoumány velikosti těchto částic s pomocí skenovacího elektronového mikroskopu.

2 Emisní složky

Oxid uhelnatý (CO) – Oxid uhelnatý je plyn bez zápachu, barvy a chuti. Není dráždivý, ale je výbušný. Je lehčí než vzduch. Tento plyn je jedovatý. Tím, že se váže na hemoglobin, tak zabraňuje přenosu vzduchu z plic do tkání. Při normální koncentraci v ovzduší rychle oxiduje na oxid uhličitý CO_2 . Oxid uhelnatý vzniká hlavně při spalování bohaté směsi $\lambda < 1$. Je to z důvodu nedostatku kyslíku v bohaté směsi, díky kterému dochází k nedokonalému spalování uhlíku obsaženého v palivu na oxid uhelnatý. [2]

Oxid uhličitý (CO_2) – Oxid uhličitý je plyn, bezbarvý, bez zápachu a bez chuti. Není jedovatý, ale zvyšuje působení CO a podílí se na vzniku skleníkového efektu. Měřítkem kvality spalování je naměřená hodnota CO_2 ve výfukových plynech. Čím naměříme vyšší hodnotu, tím je spalování dokonalejší, případně těsnosti výfukového potrubí. [2]



Obr. 1 Vstupní a výstupní složky procesu spalování [1]

Uhlovodíky (HC) – Uhlovodíky se vyskytují ve výfukových plynech ve dvou různých formách a to jako nespálené uhlovodíky, které obsahují parafíny, olefiny, acetyleny, aromatické uhlovodíky a částečně spálené uhlovodíky, které obsahují ketony a aldehydy. Částečně spálené uhlovodíky již v malé koncentraci dráždí oči a nos. Výskyt uhlovodíků je ovlivněn především opotřebením motoru a seřizením zapalování. Při větší zátěži dochází k jejich poklesu. U zážehových motorů jsou uhlovodíky důležitý diagnostický parametr. [2]

Oxidy dusíku (NO_x) – Působí podobně jako CO, napadají sliznice a plíce. V motoru vznikají při hoření za vysokých teplot a tlaků, převážně při nadbytku kyslíku. Oxidy dusíku mohou být zdraví škodlivé. NO je bez barvy a zápachu. NO_2 vznikne sloučením NO a O_2 za vysokých teplot a tlaku. Společně s uhlovodíky se podílí na tvorbě smogu. [2]

Oxid siřičitý (SO_2) – Oxid siřičitý je jedovatý štiplavě páchnoucí plyn, který je bezbarvý. V dýchacích cestách vytváří kyselinu siřičitou a dráždí dýchací cesty, je proto nebezpečný. Pro vznětové motory platí vyšší emisní limity, než motory zážehové. Při sloučení s vodou vznikají sirné kyseliny, které škodí životnímu prostředí. Nejtypičtějším příkladem jsou kyselé deště. [2]

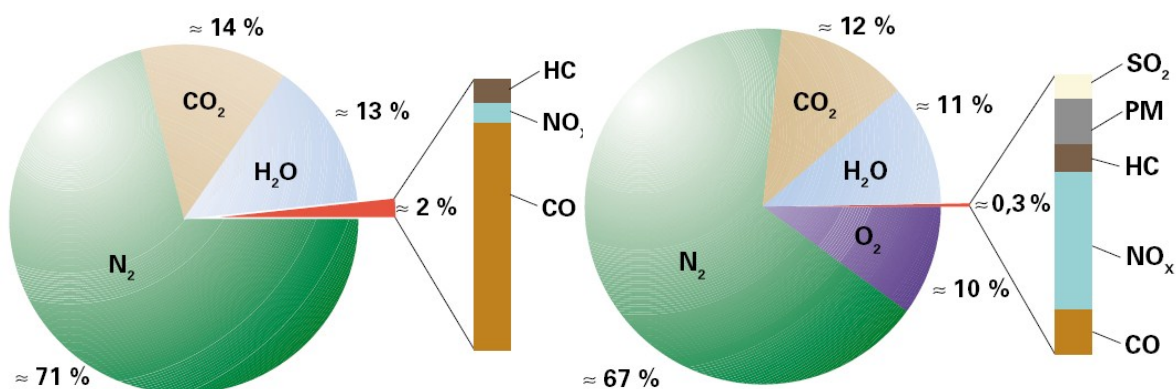
Olovo (Pb) – Olovo je těžký kov, který je silně jedovatý pro lidský organismus. Hlavním úkolem sloučenin olova, které byly přidávány do paliva, bylo zvýšení antidetonačních odolností. Tedy snížení citlivosti na klepání motoru. V současné době byly tyto sloučeniny nahrazeny aditivy. U benzínových pump lze zakoupit již jen bezolovnaté paliva. [2]

Saze (PM) – Saze jsou částice, které vznikají pouze u vznětových motorů při plném zatížení v důsledku štěpení uhlovodíkových řetězců při místním nedostatku vzduchu a vysoké teplotě. Částice sazí jsou přenašeči mutagenů a karcinogenů. Saze významně omezují viditelnost. [2]

Dusík (N_2) – Dusík je nehořlavý plyn, bez barvy a zápachu. Není jedovatý. Je hlavní složkou vzduchu. Dusík je obsažen ve vzduchu 78%. Při reakci s kyslíkem vzniká oxid dusíku NO_2 . Většina NO_2 se po ukončení spalovacího procesu vrací ve výfukových plynech zpět do vzduchu. [2]

Kyslík (O_2) – Kyslík je bezbarvý plyn. Není jedovatý a je bez chuti a zápachu. Bez kyslíku nemůže dojít k procesu spalování. Pochází z nasávaného vzduchu. Ve výfukových plynech zážehového motoru se vykytuje při chudé směsi s přebytkem vzduchu $\lambda > 1$. [2]

Vodní páry (H_2O) – Vodní páry vznikají sloučením vodíku, který je součástí paliva a kyslíku, který do motoru nasáváme ze vzduchu. Při spalování se vyskytují ve formě vodní páry. [2]



Obr. 2 Složení výfukových plynů zážehových a vznětových motorů [1]

U zážehových motorů legislativa upravuje dovolené množství oxidu uhelnatého a součinitele přebytku vzduchu lambda. Podle normy Euro, která je dána výrobcem vozidla se dovolená množství liší.

Pro vznětové motory v současné době legislativa upravuje míru dovolených emisí v podobě dovolené míry kouřivosti. Pro stanovení kouřivosti motoru se provádí měření opacity přístrojem nazývaným opacimetr. Opacita je obrácená hodnota kouřivosti. Když je opacita 100 %, tak je kouřivost maximální.

Každé vozidlo se spalovacím motorem, které je schváleno pro provoz na podzemních komunikacích se musí dostavit na pravidelné měření emisí v pravidelných intervalech daných zákonem.

3 Emisní analýza vozidel se zážehovými motory

Tato kapitola se zabývá měřením exhalací zážehových motorů. Při měření byly na vozidle záměrně vytvářeny chybové stavy (závady mechanického a elektrického charakteru), které mohou v běžném provozu nastat a mohou mít vliv na složení výfukových plynů. Měření je prováděno na dvou vozidlech se stejným zdvihovým objemem motoru $1\,600\text{cm}^3$, kdy na jednom vozidle je pro všechna měření mechanicky odstraněn katalyzátor. Pro obě vozidla pak byla prováděna shodná měření. Takto může být provedena objektivní komparace naměřených výsledků pro případ vozidla s katalyzátorem, resp. bez katalyzátoru.



Obr. 3 Hyundai i30, rok výroby 2008, laboratoř FEI VŠB - TUO



Obr. 4 Hyundai i30, rok výroby 2011, laboratoř FEI VŠB - TUO

V praxi je katalyzátor běžně odstraňován záměrně jak při jeho poruše z důvodu ušetření financí za nový díl, tak z důvodu zvýšení výkonu vozidla. Mezi širokou veřejností kolují různé mylné informace, že je katalyzátor u vozidla zbytečný a jedná se pouze o další součást, která snižuje průtok výfukového systému a může dojít k jeho disfunkci. Měření by měla tato tvrzení vyvrátit. Vozidlo bez katalyzátoru je zobrazeno na obr. 3. Jedná se o automobil Hyundai i30 vyrobený v roce 2008. Objem motoru je 1 600 cm³ s výkonem 93 kW a označením G4FC. Druhým měřeným vozidlem je poslední modelová řada vozu Hyundai i30 vyrobená v roce 2011 s objem motoru 1 600 cm³ a výkonem 88 kW.



Obr. 5 Měření vozidla v zátěži na zkušebních válcích, laboratoř FEI VŠB - TUO

Měření exhalací bylo prováděno ve třech režimech. V prvním režimu má vozidlo volnoběžné otáčky přibližně okolo 660 ot/min a nulovou rychlost. Měření se provádí po dobu 30 vteřin. V druhém režimu má vozidlo také nulovou rychlost, ale měření je prováděno ve zvýšených otáčkách v rozmezí 2 500 ot/min – 3 000 ot/min po stejnou dobu. Třetí měření je prováděno v dynamickém stavu na válcovém dynamometru (dále jen válcová zkušebna), kdy je ve vozidle zařazen druhý rychlostní stupeň a plynový pedál je držen na maximální hodnotě. V programovém prostředí válcové zkušebny je navolena varianta jízdní simulace pro udržování konstantní rychlosti. Konkrétně je nastavena na maximální rychlost 50 km/h. Při dovršení této rychlosti jsou válce dynamicky brzděny, aby nebyla tato rychlost překročena. Otáčky motoru jsou u tohoto měření u starší i30ky okolo 3 600 ot/min a u novější i30ky okolo 4 000 ot/min. Doba měření je totožná jako v předchozích režimech. Aby byly zajištěné stejné podmínky pro všechny měření, tak je měření na vozidle ve všech režimech prováděno na zahřátém motoru, kdy teplota oleje dosahuje minimálně 80 °C. Exhalace jsou měřeny pomocí výfukové sondy emisního analyzátoru BOSCH BEA 050.

3.1 Měření se všemi funkčními systémy

Jako první měření je prováděno měření se všemi funkčními systémy na vozidle s katalyzátorem tab. 1 a na vozidle bez katalyzátoru tab. 2. Pomocí těchto naměřených hodnot můžeme při různých závadách na vozidlech porovnávat, jak se mění exhalace. Pro upřesnění měřených hodnot je vždy každý měřicí režim proveden třikrát a poté z naměřených hodnot vypočtená průměrná hodnota. Pomocí emisního analyzátoru pro zážehové motory je možné měřit složky oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a kyslíku. Hodnota lambda je poté z těchto naměřených hodnot vypočtena a zobrazena emisním analyzátozem.

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,344	0,412	0,410	0,513	0,479	0,464	5,907	5,544	5,570
Ø _{OK}	0,389			0,485			5,674		
HC [ppm]	269	297	280	179	197	195	152	181	165
Ø _{OK}	282			190			166		
CO ₂ [%obj]	14,37	14,22	14,13	14,26	13,88	14,07	11,31	11,57	11,46
Ø _{OK}	14,24			14,07			11,45		
O ₂ [%obj]	1,41	1,52	1,64	1,43	1,52	1,46	0,82	0,80	0,81
Ø _{OK}	1,52			1,47			0,81		
Lambda [-]	1,042	1,044	1,051	1,043	1,048	1,045	0,867	0,875	0,875
Ø _{OK}	1,046			1,045			0,872		

Tab. 1 Emise se všemi funkčními systémy – vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,003	0,004	0,003	0,003	0,008	0,007	3,794	3,887	3,784
Ø _{OK}	0,003			0,006			3,822		
HC [ppm]	1	0	1	0	0	0	19	30	29
Ø _{OK}	0			0			26		
CO ₂ [%obj]	15,13	15,13	15,03	15,10	15,05	14,97	12,99	12,92	12,97
Ø _{OK}	15,10			15,04			12,96		
O ₂ [%obj]	0,44	0,43	0,43	0,44	0,43	0,43	0,79	0,79	0,77
Ø _{OK}	0,043			0,043			0,78		
Lambda [-]	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	0,929	0,926	0,928
Ø _{OK}	1,020			1,020			0,928		

Tab. 2 Emise se všemi funkčními systémy – vozidlo s katalyzátorem

Pokud porovnáme naměřené hodnoty u vozidla s katalyzátorem a bez katalyzátoru pomocí tabulek 1 a 2, tak je na první pohled patrné, že v tabulce jedna je měřené vozidlo bez katalyzátoru. Jelikož u vozidla bez katalyzátoru nedochází při provozní teplotě (400 –

800 °C) k oxidaci CO a HC na CO₂ a H₂O a redukci NO_x na N₂, tak ve všech režimech zůstali ve výfukových plynech nespálené uhlovodíky a hodnota oxidu uhelnatého je stejně tak vysoká. Vzhledem k tomu, že nedošlo k oxidaci, je hodnota oxidu uhličitého naopak nízká. Na hodnotě kyslíku je také patrné, že nám nedochází k hoření a ve výfukových plynech ho tak zůstává velké množství.

3.2 Měření při ucpaném sacím traktu

Při tomto měření je simulován stav znečištěného (zaneseného, zalepeného) vzduchového filtru. Ten se při provozu často zanáší nasávaným poletujícím prachem, listím, atp. Většina těchto nečistot se usadí na vzduchovém filtru sací soustavy motoru, který má za úkol tyto nečistoty zachytit. Aby se předešlo tomuto problému, je potřeba měnit vzduchový filtr v předepsaných intervalech.

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 – 3000ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,526	0,471	0,410	0,517	0,521	0,577	0,545	0,569	0,555
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,389 /0,469			0,485 /0,538			0,674 /0,556		
HC [ppm]	302	293	353	174	197	218	142	146	136
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	282 /316			190 /196			166 /141		
CO ₂ [%obj]	14,09	14,16	14,14	14,18	14,14	14,09	14,14	14,17	14,18
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	14,24 /14,13			14,17 /14,14			11,45 /14,16		
O ₂ [%obj]	1,80	1,82	1,67	1,42	1,48	1,48	1,31	1,30	1,30
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,52 /1,76			1,47 /1,46			0,81 /1,30		
Lambda [-]	1,053	1,056	1,048	1,043	1,044	1,041	1,038	1,037	1,038
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,046 /1,052			1,045 /1,043			0,872 /1,038		

Tab. 3 Emise při znečištěném sacím traktu - vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,004	0,004	0,004	0,004	0,011	0,006	4,083	5,047	4,950
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,003 /0,004			0,006 /0,007			3,822 /4,693		
HC [ppm]	0	0	0	0	1	0	19	25	25
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0 /0			0 /0			26 /23		
CO ₂ [%obj]	15,26	15,35	15,19	15,26	15,14	15,21	12,80	12,44	12,29
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	15,10 /15,27			15,04 /15,20			12,96 /12,51		
O ₂ [%obj]	0,68	0,61	0,62	0,62	0,62	0,61	0,80	0,81	0,80
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,043 /0,64			0,043 /0,62			0,78 /0,80		
Lambda [-]	1,028	1,028	1,029	1,028	1,028	1,028	0,922	0,899	0,899
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,020 /1,028			1,020 /1,028			0,928 /0,907		

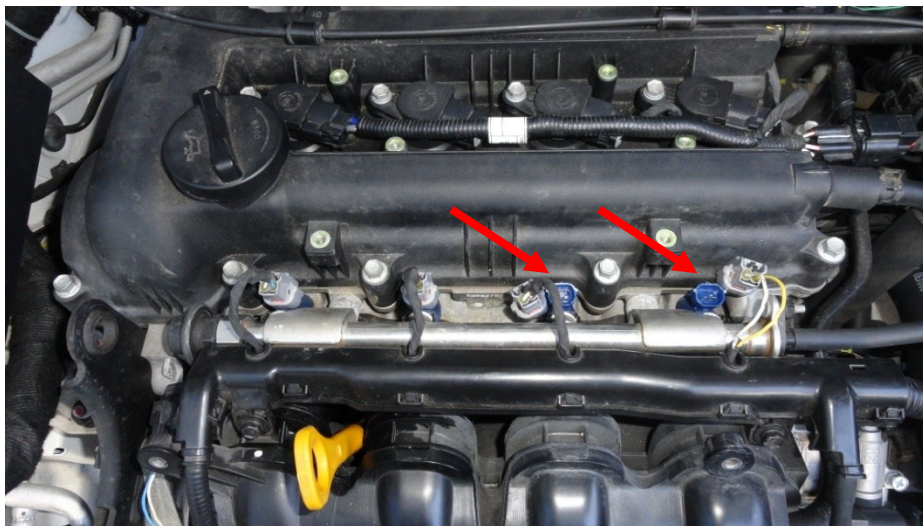
Tab. 4 Emise při znečištěném sacím traktu – vozidlo s katalyzátorem

Hodnota oxidu uhelnatého se z důvodu nedostatku nasávaného vzduchu u vozidla bez katalyzátoru ve volnoběžných a zvýšených otáčkách zvýšila, naopak v zátěži klesla. Výkon vozidla je při měření v zátěži znatelně snížený. U vozidla s katalyzátorem se při volnoběhu a zvýšených otáčkách oxid uhelnatý nezměnil, ale při měření v zátěži vzrostl. Nespálené uhlovodíky se u vozidla bez katalyzátoru při volnoběhu a zvýšených otáčkách mírně zvýšily. Při měření v zátěži řídicí jednotka z důvodu nedostatku vzduchu omezila přívod paliva a nespálené uhlovodíky se v zátěži snížily. U vozidla s katalyzátorem se uhlovodíky při volnoběhu a zvýšených otáčkách nezměnily. Při zátěži došlo k mírnému poklesu uhlovodíků ze stejného důvodu jako u vozidla bez katalyzátoru. Množství zbytkového kyslíku u vozidla bez katalyzátoru stoupl hlavně v zátěži, ale naopak u vozidla s katalyzátorem množství kyslíku stoupl ve volnoběhu a zvýšených otáčkách. V zátěži se množství kyslíku nezměnilo. Hodnota lambda se na obou vozidlech při volnoběhu a zvýšených otáčkách téměř nezměnila. Nejvíce je patrná změna v zátěži, kdy se u vozidla bez katalyzátoru dostaly hodnoty do chudé směsi a naopak u vozidla s katalyzátorem se hodnoty z bohaté směsi posunuli směrem dolů do směsi bohatší. U vozidla bez katalyzátoru se oxid uhličitý ustálil ve všech režimech na téměř stejné hodnotě, což znamená, že oproti normálnímu stavu oxid uhličitý vzrostl ve volnoběhu. U vozidla s katalyzátorem oxid uhličitý ve volnoběhu a zvýšených otáčkách mírně stoupl, ale naopak v zátěži se oproti normálnímu stavu mírně snížil.

Problém na vozidle je nejvíce patrný u vozidla bez katalyzátoru a to nejvíce při měření v zátěži, kdy se znatelně změnily všechny měřené složky. Při měření vozidla s katalyzátorem nebyl problém na naměřených exhalacích tolik patrný. Řídicí jednotka motoru nevypsala u tohoto problému na vozidle žádnou závadu ani u jednoho ze zkoušených vozidel.

3.3 Měření při výpadku vstříkovací trysky

Při tomto měření je simulován důsledek výpadku vstříkovací trysky (např. elektricky vadný vstříkovač). V první fázi je měření prováděno při odpojení vstříkovači na 4. válci u obou vozidel a ve druhé fázi je odpojen vstříkovač na 3. a 4. válci. Při odpojení vstříkovači není možno dopravit palivo do spalovacího prostoru. Odpojení vstříkovače je zobrazeno na obr. 6.



Obr. 6 Odpojení vstříkovače na 3. a 4. válci

Pokud odpojíme vstříkovač na jakémkoli válci, tak je v řídicí jednotce zaznamenána závada u obou vozidel. U prvního modelu Hyundai i30 r.v. 2008 se do ŘJ při odpojení 4. vstříkovače zapíše závada *P0204 Vstříkovací ventil(4.válec) – porucha funkce*, *P0300 Různé válce – rozpoznáno vynechávání zapalování* a *P0304 4. válec - rozpoznáno vynechávání zapalování*. U novějšího modelu i30ky od r.v. 2011 je stejná závada zaznamenána jedním chybovým kódem *P0204 Vysokotlaký vstříkovací ventil (4. válec) - Vadný*. Pokud dojde k odpojení dalšího vstříkovače, tak se stejné závady pod dalším chybovým kódem přepíší s označením dalšího válce. Aby byl motor po odpojení vstříkovače provozuschopný, tak dochází u zbylých funkčních vstříkovačů k prodlužování doby vstříku. U starší i30ky je při zahřátém motoru a všech funkčních vstříkovačích doba vstříku 2,6 ms na každém vstříkovači. Při nefunkčním jednom vstříkovači se doba otevření vstříkovače prodlužuje na 3 – 3,2 ms na zbylých vstříkovačích. U nefunkčních dvou vstříkovačů se doba ještě prodlužuje na 3,7 - 4,3 ms. U novější i30ky je doba vstříku při zahřátém funkčním systému 1,64 – 2,64 ms. Pokud odpojíme jeden vstříkovač, tak se doba otevření vstříkovače ustálí na 2,46 ms a při odpojení dvou vstříkovačů je doba vstříku v rozmezí od 2,36 – 7,28 ms.

Měření při odpojení 4. vstřikovači

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,197	0,186	0,247	0,454	0,753	0,846	0,804	0,731	0,657
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0,389 / 0,210			0,485 / 0,684			5,674 / 0,731		
HC [ppm]	335	326	305	159	171	177	96	89	99
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	282 / 322			190 / 169			166 / 95		
CO ₂ [%obj]	9,75	9,96	9,76	10,61	10,53	10,46	10,43	10,41	10,46
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	14,24 / 9,82			14,17 / 10,53			11,45 / 10,43		
O ₂ [%obj]	7,74	7,32	7,60	6,36	6,16	6,19	6,28	6,27	6,29
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	1,52 / 7,55			1,47 / 6,24			0,81 / 6,28		
Lambda [-]	1,498	1,462	1,487	1,370	1,338	1,335	1,352	1,358	1,362
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	1,046 / 1,482			1,045 / 1,348			0,872 / 1,357		

Tab. 5 Emise při odpojení vstřikovači na 4. válci – vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,004
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0,003 / 0,002			0,006 / 0,003			3,822 / 0,004		
HC [ppm]	0	1	-1	1	3	1	2	1	4
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0 / 0			0 / 2			26 / 2		
CO ₂ [%obj]	11,51	11,40	11,54	10,76	10,66	10,80	10,50	10,50	10,49
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	15,10 / 11,48			15,04 / 10,74			12,96 / 10,50		
O ₂ [%obj]	5,59	5,73	5,54	6,56	6,68	6,50	6,95	6,95	6,98
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0,043 / 5,62			0,043 / 6,58			0,078 / 6,96		
Lambda [-]	1,341	1,353	1,337	1,428	1,440	1,423	1,465	1,463	1,467
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	1,020 / 1,344			1,020 / 1,430			0,928 / 1,465		

Tab. 6 Emise při odpojení vstřikovači na 4. válci – vozidlo s katalyzátorem

Při bližším prozkoumání naměřených hodnot od obou vozidel pomocí tabulky 5 a 6 je na hodnotách zbytkového kyslíku patrné, že minimálně u jednoho válce nedochází k hoření a ve spalínách zůstává velké množství kyslíku. Hodnoty lambda odpovídají ve všech režimech velmi chudé směsi. Hodnoty oxidu uhličitého klesly ve volnoběžných a zvýšených otáčkách u obou měřených aut přibližně o jednu čtvrtinu. V zátěži oxid uhličitý klesl taktéž, ale pokles není tak patrný. Oxid uhelnatý se při volnoběhu a zvýšených otáčkách příliš nemění, ale v zátěži klesnul oproti normálnímu stavu vozidla na hodnotu rovnající se měření při zvýšených otáčkách vozidla. Nespálené uhlovodíky se u vozidla s katalyzátorem rovnají ve všech režimech téměř nule. Oproti normálnímu stavu tím pádem v zátěži klesly. U vozidla bez katalyzátoru uhlovodíky ve volnoběžných otáčkách vzrostly, ale ve zvýšených otáčkách a zátěži naopak klesly. Nejvíce je to patrné při měření v zátěži, kdy je pokles téměř poloviční.

Měření při odpojení 3. a 4. vstřikovači

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,275	0,189	0,163	0,514	0,548	0,564	0,341	0,314	0,378
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0,389 / 0,209			0,485 / 0,542			5,674 / 0,344		
HC [ppm]	401	344	350	199	171	177	90	93	102
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	282 / 365			190 / 182			166 / 95		
CO ₂ [%obj]	6,54	6,57	6,56	6,63	6,63	6,67	6,65	6,64	6,65
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	14,24 / 6,56			14,17 / 6,64			11,45 / 6,65		
O ₂ [%obj]	11,58	11,58	11,62	11,30	11,30	11,21	11,44	11,44	11,42
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	1,52 / 11,59			1,47 / 11,27			0,81 / 11,43		
Lambda [-]	2,079	2,107	2,116	2,035	2,034	2,015	2,107	2,114	2,094
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	1,046 / 2,101			1,045 / 2,028			0,872 / 2,105		

Tab. 7 Emise při odpojení vstřikovači na 3. a 4. válci – vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,004	0,001	0,002
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0,003 / 0,002			0,006 / 0,002			3,822 / 0,002		
HC [ppm]	4	4	2	20	8	5	11	8	8
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0 / 3			0 / 11			26 / 9		
CO ₂ [%obj]	7,24	7,18	7,25	7,44	6,67	6,73	6,66	6,74	6,73
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	15,10 / 7,22			15,04 / 6,95			12,96 / 6,71		
O ₂ [%obj]	10,98	11,94	11,42	10,73	11,93	11,36	11,90	11,72	11,69
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	0,043 / 11,45			0,043 / 11,34			0,078 / 11,77		
Lambda [-]	2,065	2,168	2,107	2,009	2,255	2,185	2,252	2,220	2,219
$\phi_{OK} / \phi_{MĚŘENÍ}$	1,020 / 2,113			1,020 / 2,150			0,928 / 2,230		

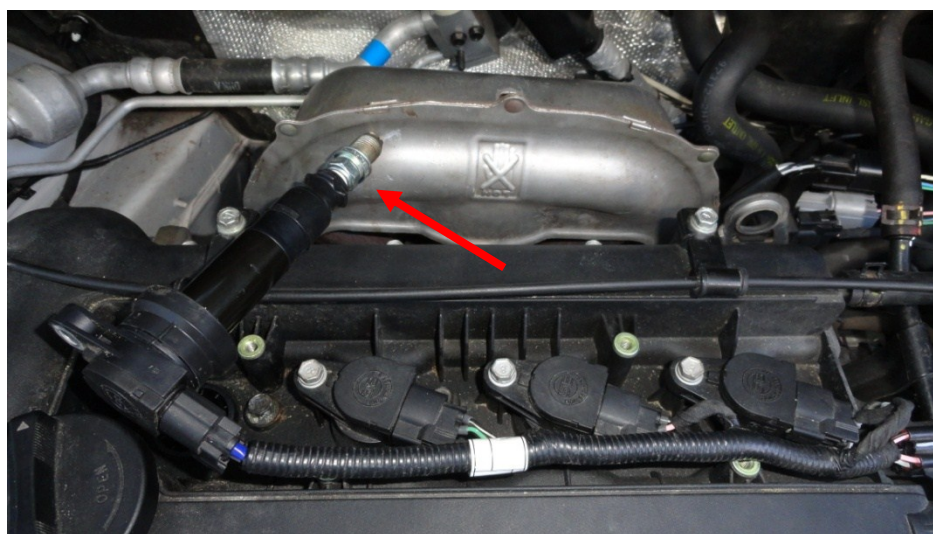
Tab. 8 Emise při odpojení vstřikovači na 3. a 4. válci - vozidlo s katalyzátorem

Pokud porovnáme naměřené hodnoty při odpojení 3. a 4. vstřikovači pomocí tabulky 7 a 8 s předchozím měřením s odpojeným pouze čtvrtým vstřikovačem, tak si můžeme všimnout, že hodnota kyslíku je ve všech režimech dvojnásobná, jelikož nedochází k hoření u dalšího válce. Hodnota lambda odpovídá z tohoto důvodu velmi chudé směsi ve všech režimech a přesahuje hodnotu dvou. Hodnoty nespálených uhlovodíků se příliš nemění. Nedochází sice k dopravě paliva do dvou válců, ale naopak u zbylých válců dochází k prodloužení impulsu na vstřikovač a do válců se dostává více paliva. U vozidla bez katalyzátoru při volnoběžných otáčkách nedochází k ideálnímu hoření směsi a na měřených exhalacích stoupají nespálené uhlovodíky. U vozidla s katalyzátorem jsou tyto uhlovodíky snižovány pomocí katalyzátoru. Podobný průběh je také u předchozího měření, ale uhlovodíky nestoupnou na tak vysokou hodnotu. Obsah oxidu uhličitého je na přibližně poloviční hodnotě ve všech režimech, což značí, že polovina motoru nepracuje správně. Při

odpojení pouze jednoho válce jsou hodnoty CO_2 sníženy pouze o jednu čtvrtinu u 4 válcového motoru. Hodnoty oxidu uhličitého v zátěži jsou podobné hodnotám zvýšených otáček stejně jako u předchozího měření. U vozidla s katalyzátorem se oxid uhelnatý ve všech režimech drží okolo nulové hodnoty. Oproti běžnému stavu vozidla oxid uhelnatý klesl z hodnoty 3,822 % na téměř nulovou hodnotu 0,002 %. U vozidla bez katalyzátoru je taktéž největší změna při měření v zátěži, kdy hodnota oxidu uhelnatého z 5,674 % klesá na 0,344 %.

3.4 Měření při špatné funkci zapalovací svíčky

V tomto měření je simulována špatně pracující zapalovací svíčka vozidla a její vliv na exhalace. Před měřením byla odpojena zapalovací cívka prvního válce a připojena náhradní svíčka, aby řídící jednotka nezaznamenala odpojení svíčky. V běžném provozu vozidla může dojít k této závadě nejčastěji při poruše zapalovací svíčky, zapalovací cívky, nebo kabeláže k zapalovací cívce. Ukázka připojení náhradní zapalovací svíčky je na obr.7.



Obr. 7 Ukázka připojení náhradní zapalovací svíčky na první válec

Aby nedošlo k odstavení vstřikovače při odpojení zapalovací svíčky, je k zapalovací cívce zapojena náhradní zapalovací svíčka. Přesto řídící jednotka zaznamená problém u prvního válce, který vyhodnotí sporadickou chybu, ale nedojde k odstavení vstřikovače v daném válci. Na obou měřených vozidlech se vypíší stejné závady se stejným chybovým kódem. První závada má označení *P0300 Různé válce – rozpoznáno vynechávání zapalování* a *P0301 1. válec – rozpoznáno vynechávání zapalování*. K vypsání stejných závad u staršího

modelu i30ky dojde také při odpojení vstřikovače prvního válce. Novější model i30ky odpojení vstřikovače zaznamená jinými chybovými kódy uvedenými v předchozí kapitole.

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	1,130	1,412	1,813	2,249	2,353	2,277	3,727	3,938	3,602
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,389 /1,452			0,485 /2,293			5,674 /3,756		
HC [ppm]	3561	3526	3519	3791	4148	4157	3702	3793	3663
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	282 /3535			190 /4032			166 /3719		
CO ₂ [%obj]	9,27	9,12	8,91	9,71	9,53	9,49	8,52	8,39	8,61
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	14,24 /9,10			14,17 /9,58			11,45 /8,51		
O ₂ [%obj]	7,49	7,39	7,43	5,88	5,82	5,90	6,08	6,10	6,09
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,52 /7,44			1,47 /5,87			0,81 /6,09		
Lambda [-]	1,144	1,131	1,118	1,006	0,981	0,986	0,973	0,963	0,979
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,046 /1,131			1,045 /0,991			0,872 /0,972		

Tab. 9 Emise při špatné funkci zapalovací svíčky – vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,722	0,612	0,732	0,826	0,992	0,996	3,182	3,423	3,565
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,003 /0,689			0,006 /0,938			3,822 /3,390		
HC [ppm]	1	-4	-3	7	21	6	29	16	15
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0 /-2			0 /11			26 /20		
CO ₂ [%obj]	14,90	15,27	15,02	14,90	14,76	14,81	13,43	13,38	13,27
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	15,10 /15,06			15,04 /14,82			12,96 /13,36		
O ₂ [%obj]	0,84	0,74	0,71	0,62	0,63	0,62	0,82	0,81	0,80
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,043 /0,76			0,043 /0,62			0,078 /0,81		
Lambda [-]	1,017	1,016	1,011	1,004	0,999	0,999	0,947	0,941	0,937
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,020 /1,015			1,020 /1,001			0,928 /0,942		

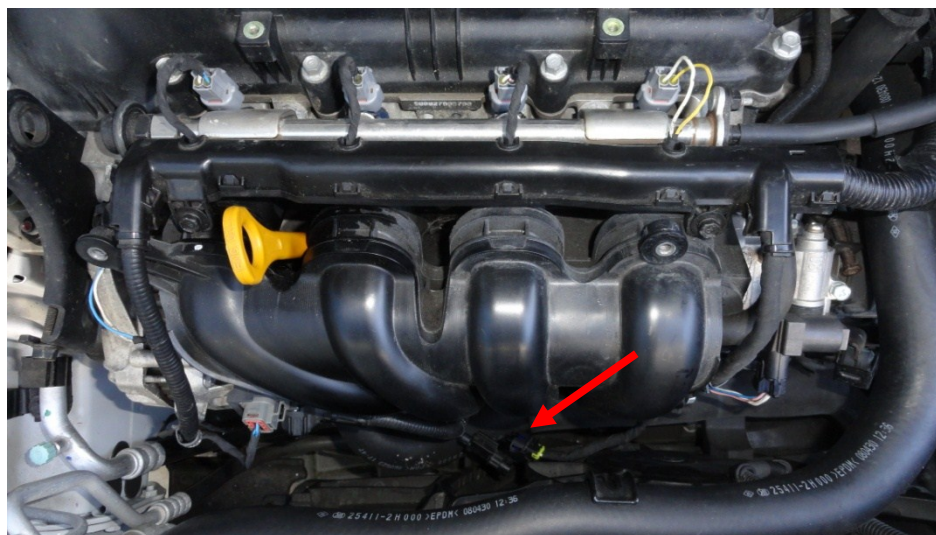
Tab. 10 Emise při špatné funkci zapalovací svíčky – vozidlo s katalyzátorem

Závada na vozidle je na emisních plynech nejvíce patrná u vozidla bez katalyzátoru, kde uhlovodíky dosahují ve všech režimech až 4 000 ppm. Na hodnotě kyslíku u vozidla bez katalyzátoru je také hned patrné, že nedochází k hoření směsi u jednoho válce a ve výfukových plynech nám tak zůstává kyslík s hodnotami podobnými ve všech režimech. Hodnota lambda se z důvodu velkého množství nespáleného paliva posunuje z chudé směsi do směsi bohaté. Největší změna je u vozidla bez katalyzátoru ve zvýšených otáčkách a v zátěži. Množství oxidu uhličitého u vozidla bez katalyzátoru klesá stejně jako při měření s odpojeným vstřikovačem přibližně o jednu čtvrtinu ve všech režimech oproti normálnímu stavu vozidla. Oxid uhelnatý ve stejném měření velice stoupl ve volnoběžných a zvýšených otáčkách. Naopak v zátěži jeho hodnota spadla téměř na polovinu.

U vozidla s katalyzátorem změny tak razantní nejsou. Nespáleného uhlovodíku vzrostly mírně pouze ve zvýšených otáčkách a v ostatních režimech zůstali podobné. To má za následek zachycení uhlovodíku pomocí katalyzátoru. Na naměřených hodnotách kyslíku také vidíme, že hodnoty neodpovídají kyslíku nepracujícího válce. Hodnota kyslíku sice mírně vzrostla, ale většina kyslíku shořela s palivem v katalyzátoru. Hodnota lambda se mírně posouvá z chudé směsi k směsi bohaté ve volnoběžných a zvýšených otáčkách. V zátěži se hodnota lambda posouvá z bohaté směsi k směsi chudé. Oxid uhličitý se u vozidla s katalyzátorem téměř nezměnil v žádném režimu. U oxidu uhelnatého došlo k nárůstu přes předepsanou hodnotu ve volnoběžných a zvýšených otáčkách. V zátěži došlo naopak k mírnému poklesu.

3.5 Měření při poruše snímače klepání

Při tomto měření je simulován stav nefunkčního snímače klepání a jeho vliv na exhalace vozidla. Snímač klepání zabraňuje, aby nedocházelo k detonačnímu spalování a dává řídicí jednotce informaci, zda má upravit korekci předstihu zapalování. V našem případě mají měřené vozidla pouze jeden snímač klepání. Odpojením snímače simulujeme poruchu na kabeláži vozidla ke snímači, popřípadě závadu na samotném snímači klepání. Na obr. 8 vidíme odpojený konektor ke snímači klepání.



Obr. 8 Odpojení snímače klepání

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,479	0,471	0,480	0,491	0,575	0,540	4,893	4,990	5,078
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,389 /0,477			0,485 /0,535			5,674 /4,987		
HC [ppm]	286	284	351	220	192	215	162	166	158
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	282 /307			190 /209			166 /162		
CO ₂ [%obj]	14,15	14,05	14,08	13,87	14,13	13,93	12,01	11,90	11,87
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	14,24 /14,09			14,17 /13,98			11,45 /11,98		
O ₂ [%obj]	1,69	1,76	1,76	1,53	1,48	1,45	0,80	0,79	0,78
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,52 /1,74			1,47 /1,49			0,81 /0,79		
Lambda [-]	1,050	1,054	1,050	1,047	1,043	1,042	0,893	0,890	0,887
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,046 /1,051			1,045 /1,044			0,872 /0,890		

Tab. 11 Emise při odpojení snímači klepání – vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,004	0,007	0,005	0,007	0,012	0,009	3,723	3,888	3,735
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,003 /0,005			0,006 /0,009			3,822 /3,782		
HC [ppm]	0	0	0	0	0	0	38	23	21
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0 /0			0 /0			26 /27		
CO ₂ [%obj]	15,20	15,20	15,35	15,25	15,28	15,26	12,97	12,89	13,00
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	15,10 /15,25			15,04 /15,26			12,96 /12,95		
O ₂ [%obj]	0,59	0,59	0,58	0,59	0,60	0,60	0,79	0,79	0,78
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,043 /0,59			0,043 /0,60			0,078 /0,79		
Lambda [-]	1,027	1,027	1,026	1,027	1,027	1,027	0,930	0,927	0,930
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,020 /1,027			1,020 /1,027			0,928 /0,929		

Tab. 12 Emise při odpojení snímači klepání – vozidlo s katalyzátorem

Na žádném z měřených vozidel nedošlo během měření k zapsání chybových kódů do řídicí jednotky motoru. Při porovnání naměřených hodnot vozidla bez závad a vozidla s nefunkčním snímačem klepání zjistíme, že snímač klepání nemá na exhalace téměř žádný vliv. U vozidla bez katalyzátoru došlo k mírnému nárůstu oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a kyslíku ve volnoběžných a zvýšených otáčkách. V zátěži došlo naopak k mírnému poklesu těchto plynů. Oxid uhličitý ve volnoběhu a zvýšených otáčkách mírně klesl, ale v zátěži se mírně zvýšil. U vozidla s katalyzátorem došlo k mírnému zvýšení oxidu uhličitého, kyslíku a lambdy při volnoběžných a zvýšených otáčkách. Změny exhalací jsou při této závadě velice nepatrné.

3.6 Měření při poruše snímače teploty chladicí kapaliny

V tomto měření je simulován vadný snímač teploty chladicí kapaliny. Pokud by byla na vozidle špatná kabeláž ke snímači chladicí kapaliny (nebo odpojen konektor snímače), tak by vznikl na kabeláži nekonečně velký odpor. Řídicí jednotka by tento stav vyhodnotila jako chybu a došlo by k nastavení nouzového režimu. Při nouzovém režimu je v řídicí jednotce nastavena konstantní teplota chladicí kapaliny 82°C. Aby nedošlo k zapsání chyb do řídicí jednotky (k nouzovému režimu), tak je potřeba se připojit na odpojený konektor od snímače chladicí kapaliny a pomocí potenciometru nastavit náhradní hodnotu. V našem případě jsou provedeny dvě měření. V prvním měření je nastavena hodnota odporu pomocí potenciometru 5,5 kΩ (odpovídající teplotě 1 °C) a v druhém měření je nastavená hodnota odporu 1,54 kΩ (odpovídající teplotě 35 °C).



Obr. 9 Připojení potenciometru na konektor snímače teploty chladicí kapaliny

U studeného motoru je potřeba dostat do spalovacího prostoru více paliva než u motoru zahřátého na provozní teplotu. Na našich měřených vozidlech je toto zabezpečeno pomocí prodloužení doby otevření vstřikovací trysky (čím delší impuls na vstřikovací trysku, tím větší dávka paliva). Pokud máme zahřátý motor a všechny systémy jsou v pořádku, tak je u starší i30 (bez katalyzátoru) doba vstřiku 2,6 ms. Pokud nastavíme pomocí potenciometru hodnotu odporu pro 35 °C, tak se otáčky motoru zvýší na 1090 ot/min. Při nastavení 1 °C se se otáčky ještě zvýší na 1420 ot/min. U novější verze i30ky (s katalyzátorem) je při zahřátém motoru doba vstřiku v rozmezí 1,64 – 2,64 ms. Při nastavené hodnotě

potenciometru pro 35 °C vzrostou otáčky u zahřátého motoru na hodnotu 1010 ot/min. Při nastavení 1 °C se otáčky ještě zvýší na hodnotu 1140 ot/min.

Měření při nastavené hodnotě 1 °C na snímači teploty chladicí kapaliny

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 1300 - 1500ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,506	0,499	0,506	0,568	0,530	0,590	9,617	9,822	9,645
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,389 / 0,504			0,485 / 0,563			5,674 / 9,695		
HC [ppm]	140	147	144	152	129	212	218	232	234
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	282 / 144			190 / 164			166 / 228		
CO ₂ [%obj]	14,38	14,35	14,35	14,26	14,19	14,15	8,77	8,64	8,76
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	14,24 / 14,36			14,17 / 14,20			11,45 / 8,72		
O ₂ [%obj]	1,27	1,28	1,29	1,36	1,43	1,46	0,71	0,71	0,71
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,52 / 1,28			1,47 / 1,42			0,81 / 0,71		
Lambda [-]	1,037	1,038	1,038	1,039	1,045	1,040	0,764	0,758	0,762
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,046 / 1,038			1,045 / 1,041			0,872 / 0,761		

Tab. 13 Emise při nastavení 1°C na snímači chladicí kapaliny - vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 1400 - 1600ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,38	0,250	0,134	0,089	0,040	0,013	8,362	8,325	8,240
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,003 / 0,255			0,006 / 0,047			3,822 / 8,309		
HC [ppm]	-1	0	5	2	0	10	132	132	134
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0 / 1			0 / 4			26 / 133		
CO ₂ [%obj]	15,27	15,35	15,29	15,30	15,24	15,84	9,75	9,80	9,82
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	15,10 / 15,30			15,04 / 15,46			12,96 / 9,79		
O ₂ [%obj]	0,84	0,82	0,81	0,86	0,83	1,24	0,81	0,81	0,81
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,043 / 0,82			0,043 / 0,98			0,078 / 0,81		
Lambda [-]	1,037	1,030	1,033	1,037	1,037	1,054	0,805	0,806	0,808
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,020 / 1,033			1,020 / 1,043			0,928 / 0,806		

Tab. 14 Emise při nastavení 1°C na snímači chladicí kapaliny - vozidlo s katalyzátorem

Na naměřených emisních složkách v tabulce 13 pro vozidlo bez katalyzátoru je patrné, že došlo k nárůstu oxidu uhelnatého ve všech režimech. Rozdíl je nejvíce patrný při měření v zátěži, kde se hodnota zvýšila o polovinu původní hodnoty. U oxidu uhličitého došlo k poklesu pouze při měření v zátěži. Naopak ve volnoběhu a zvýšených otáčkách se CO₂ nepatrně zvýšilo. U hodnot uhlovodíků došlo ve volnoběhu a zvýšených otáčkách k poklesu. Na rozdíl v zátěži se uhlovodíky výrazně zvýšily o 60 ppm. Hodnota kyslíku se u vozidla bez katalyzátoru téměř nezměnila. Hodnoty lambda se snížily ve všech režimech, nejvíce v zátěži. U vozidla s katalyzátorem v tabulce 14 došlo stejně jako u vozidla bez katalyzátoru k nárůstu oxidu uhelnatého. V zátěži je nárůst ještě patrnější a oproti původní hodnotě

vzrůstá dvojnásobně. Oxid uhličitý mírně roste ve zvýšených otáčkách a volnoběhu. Stejně jako u vozidla bez katalyzátoru v zátěži klesá. Uhlovodíky prudce vzrostly v zátěži a to o pětinasobek původní hodnoty. Ve volnoběžných a zvýšených otáčkách se rozdíl neprojevil. Hodnoty kyslíku prudce rostou ve všech režimech minimálně o desetinásobek původní hodnoty. Lambda na rozdíl oproti vozidlu bez katalyzátoru stoupá ve volnoběhu a zvýšených otáčkách, ale v zátěži taktéž klesá do hodnot velmi bohaté směsi.

Měření při nastavené hodnotě 35 °C na snímači teploty chladicí kapaliny

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 1100 - 1300ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,556	0,559	0,537	0,601	0,582	0,567	5,782	5,943	6,385
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,389 /0,551			0,485 /0,538			5,674 /6,037		
HC [ppm]	190	232	203	189	194	184	160	148	136
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	282 /208			190 /189			166 /148		
CO ₂ [%obj]	14,23	14,17	14,23	14,14	14,16	14,15	11,43	11,31	11,05
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	14,24 /14,21			14,17 /14,15			11,45 /11,26		
O ₂ [%obj]	1,44	1,48	1,43	1,46	1,46	1,47	0,69	0,69	0,69
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,52 /1,45			1,47 /1,46			0,81 /0,69		
Lambda [-]	1,041	1,041	1,041	1,041	1,041	1,043	0,865	0,861	0,851
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,046 /1,041			1,045 /1,042			0,872 /0,859		

Tab. 15 Emise při nastavení 35°C na snímači chladicí kapaliny - vozidlo bez katalyzátoru

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 1300 - 1500ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,004	0,002	0,003	0,003	0,008	0,016	5,427	6,027	5,459
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,003 /0,003			0,006 /0,009			3,822 /5,638		
HC [ppm]	0	-1	-3	0	1	1	24	29	29
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0 /-1			0 /1			26 /27		
CO ₂ [%obj]	15,37	15,36	15,34	15,10	15,30	14,59	12,02	11,45	11,80
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	15,10 /15,36			15,04 /15,00			12,96 /11,76		
O ₂ [%obj]	0,81	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,80	0,80	0,81
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,043 /0,81			0,043 /0,82			0,078 /0,80		
Lambda [-]	1,037	1,037	1,037	1,038	1,037	1,039	0,887	0,870	0,885
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,020 /1,037			1,020 /1,038			0,928 /0,881		

Tab. 16 Emise při nastavení 35°C na snímači chladicí kapaliny - vozidlo s katalyzátorem

Při měření je na snímači chladicí kapaliny nastavena hodnota 35 °C. Oproti předchozímu měření se tato hodnota více blíží skutečné hodnotě zahřátého vozidla na 90 °C. Emisní složky se tím pádem vyrovnávají hodnotám vozidla s funkčním systémem. U vozidla bez katalyzátoru v tabulce 15 došlo stejně jako v předchozím případě (při nastavené hodnotě 1 °C na snímači chladicí kapaliny) k nárůstu oxidu uhelnatého. Nárůst, ale již není tak

markantní. Hodnota oxidu uhličitého se v porovnání s hodnotami vozidla bez závad téměř nezměnila stejně jako kyslík a lambda. Na uhlovodících došlo k poklesu ve všech režimech. U vozidla s katalyzátorem v tabulce 16 se taktéž, jako v předchozím měření, oxid uhelnatý ve volnoběhu a zátěži nezměnil. Nárůst je také až v zátěži, ale již není tak znatelný. Hodnoty uhlovodíků se nezměnily vůbec. Oxid uhličitý se v zátěži snižuje, ale také již ne tak znatelně. Ve volnoběhu a zvýšených otáčkách jsou změny velice malé. Množství kyslíku je srovnatelné s předchozím měřením stejně jako lambda ve volnoběhu a zvýšených otáčkách. V zátěži se hodnota lambdy sice posunuje do bohaté směsi, ale již ne tak znatelně.

3.7 Měření při odpojené lambda sondě před a za katalyzátorem

Lambda sonda slouží k měření kyslíku ve výfukových plynech. Změnou napětíové úrovně určuje, zda jsou výfukové plyny v oblasti bohaté směsi ($\lambda < 1$), nebo oblasti chudé směsi ($\lambda > 1$). Na měřených vozidlech jsou dvě lambda sondy. Při tomto měření jsou simulovány závady na těchto lambda sondách. První lambda sonda se nachází před katalyzátorem a druhá za katalyzátorem. Aby nedocházelo k zásahům lambda sond do řízení motoru, tak došlo k odpojení konektorů od obou lambda sond.



Obr. 10 Odpojení konektoru lambda sondy před a za katalyzátorem

Na obou měřených vozidlech je odpojení konektorů lambda sond zaznamenáno řídicí jednotkou motoru. Řídicí jednotka tento problém zaznamená u starší i30ky jako tři chybové kódy s označením *P0030 Vyhřívání lambda sondy (řada 1, sonda 1) Porucha funkce*, *P0036 Vyhřívání lambda sondy (řada 1, sonda 2) Porucha funkce* a *P0134 Lambda sonda (řada 1, sonda 1) Komponenta / funkce neaktivní*. U novější i30 jsou zaznamenány pouze dva

chybové kódy a to totožné jako u starší i30ky P0030 a P0036. Pokud řídicí jednotka zaznamená poruchu na lambda sondě, tak dojde k nastavení náhradní hodnoty.

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 3600 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	1,094	0,911	0,725	3,192	4,080	3,050	5,508	5,435	5,576
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,389 / 0,910			0,485 / 3,441			5,674 / 5,506		
HC [ppm]	369	406	385	288	361	316	139	156	156
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	282 / 387			190 / 322			166 / 150		
CO ₂ [%obj]	13,94	14,01	13,99	12,86	12,29	12,98	11,60	11,65	11,55
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	14,24 / 13,98			14,17 / 12,71			11,45 / 11,60		
O ₂ [%obj]	1,47	1,52	1,69	0,91	0,92	0,96	0,67	0,67	0,67
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,52 / 1,56			1,47 / 0,93			0,81 / 0,67		
Lambda [-]	1,017	1,022	1,037	0,936	0,910	0,941	0,872	0,874	0,870
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,046 / 1,025			1,045 / 0,929			0,872 / 0,872		

Tab. 17 Emise při závadě na lambda sondě před a za katalyzátorem – vozidlo bez kat.

Obsah plynu	Měření při volnoběhu 600 - 800 ot/min			Při zvýšených otáčkách 2500 - 3000 ot/min			Měření v zátěži při 4000 ot/min		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
CO [%obj]	0,003	0,003	0,004	0,006	0,002	0,006	4,367	3,515	3,453
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,003 / 0,003			0,006 / 0,005			3,822 / 3,778		
HC [ppm]	0	0	0	1	0	0	21	13	18
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0 / 0			0 / 0			26 / 17		
CO ₂ [%obj]	14,93	15,07	15,16	14,67	15,11	14,51	15,56	13,17	13,17
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	15,10 / 15,05			15,04 / 14,76			12,96 / 13,97		
O ₂ [%obj]	0,86	0,82	0,83	1,06	1,19	1,47	0,80	0,81	0,79
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	0,043 / 0,84			0,043 / 1,24			0,078 / 0,80		
Lambda [-]	1,040	1,038	1,038	1,051	1,055	1,071	0,914	0,938	0,938
Ø _{OK} /Ø _{MĚŘENÍ}	1,020 / 1,039			1,020 / 1,059			0,928 / 0,930		

Tab. 18 Emise při závadě na lambda sondě před a za katalyzátorem – vozidlo s kat.

U vozidla bez katalyzátoru došlo ve volnoběhu a zvýšených otáčkách k prudkému nárůstu oxidu uhelnatého a uhlovodíků. V zátěži naopak množství těchto plynů mírně kleslo. U vozidla s katalyzátorem nedošlo na těchto emisních složkách k žádné změně v žádném režimu. Oxid uhličitý ve volnoběžných a zvýšených otáčkách u obou vozidel klesl, v zátěži naopak mírně stoupl. Množství kyslíku se u vozidla s katalyzátorem několikanásobně zvýšilo ve všech režimech. U vozidla bez katalyzátoru došlo naopak k poklesu kyslíku ve zvýšených otáčkách a zátěži. Hodnoty lambda u vozidla bez katalyzátoru ve volnoběhu zvýšených otáčkách mírně klesly, ale přesto zůstávají v oblasti chudé směsi. U vozidla s katalyzátorem hodnota lambda naopak stoupla do chudší směsi. V zátěži se na těchto vozidlech neprojevila žádná změna.

4 Emisní analýza vozidel se vznětovými motory

Tato kapitola se zabývá měřením exhalací vznětových motorů. Stejně jako v předchozí kapitole byly na vozidlech záměrně vytvářené chybové stavy, které mohou v běžném provozu nastat a mohou mít vliv na kouřivost vozidla. Měření je prováděno na dvou vozidlech Hyundai i30 modelové řady GD. Vozidla mají stejnou motorizaci o objemu 1 600 cm³ s výkonem 88 kW. Kód motoru vozidel je D4FB. Na Hyundai i30 CW na obrázku 11 je mechanicky odstraněn filtr pevných částic (DPF) a katalyzátor. Filtr pevných částic slouží ve vozidle pro zachycení pevných částic vznětového motoru. Vozidlo s DPF by tudíž mělo mít nižší kouřivost, než vozidlo bez DPF. Na druhém měřeném vozidle Hyundai i30 Coupe na obrázku 12 je DPF plně funkční. Pro obě vozidla byla prováděná stejná měření. Tímto způsobem může být provedena objektivní komparace naměřených výsledků pro případ vozidla s DPF, resp. bez DPF.



Obr. 11 Hyundai i30 1,6 CRDi CW, rok výroby 2012, laboratoř FEI VŠB - TUO

Kouřivost vozidel je měřena ve dvou režimech. V prvním režimu se měření provádí formou volné akcelerace, kdy má měřené vozidlo volnoběžné otáčky po dobu 15 s a poté je z volnoběžných otáček motor vozidla vytočen do maximálních otáček (omezovače) a tam je motor vozidla držen po dobu 5 s. Jakmile má vozidlo opět volnoběžné otáčky, tak se měření opakuje. Z důvodu snížení chyby měření je každé měření prováděno čtyři krát. Druhé měření je prováděno v dynamickém stavu na válcové zkušebně. Na měřeném vozidle je zařazen druhý rychlostní stupeň a plynový pedál je držen na maximální hodnotě. V programovém prostředí válcové zkušebny je navolena varianta jízdní simulace pro

udržování konstantní rychlosti. Válcová zkušebna je nastavena na maximální rychlost 50 km/h. Stejné parametry byly nastavené pro měření zážehových motorů při měření na válcové zkušebně. Jakmile vozidlo dovrší rychlost 50 km/h a plyn již nelze více přidat, tak je spuštěno měření. Doba měření je 5 s. Otáčky vozidla při měření jsou 3 500 ot/min. Při všech měřeních jsou vozidla zahřáté na provozní teplotu a teplota oleje musí být vyšší než 80 °C. Kouřivost vozidel je měřena pomocí opacimetru Bosch RTM 430, který je propojen s měřicí stanicí BOSCH FSA 740.



Obr. 12 Hyundai i30 1,6 CRDi Coupe, rok výroby 2013, laboratoř FEI VŠB – TUO

4.1 Kouřivost vozidla bez závad řízení motoru

Aby bylo možné porovnávat změnu kouřivosti vozidla při jeho poruše, tak je potřeba nejprve změřit kouřivost vozidla se všemi funkčními systémy. Naměřené hodnoty pro vozidlo s odstraněným filtrem pevných částic jsou v tabulce 19. V tabulce 20 jsou naměřené hodnoty s funkčním filtrem pevných částic. Jak již bylo zmíněno, tak se každé měření provádí čtyřikrát. V kolonkách průměrné hodnoty jsou dva sloupce, kde v prvním sloupci je průměr funkčního systému bez závad (ϕ_{OK}) a v druhém sloupci je průměrná hodnota daného měření ($\phi_{MĚŘENÍ}$). Do tabulek jsou zaznamenány nejprve hodnoty kouřivosti při volné akceleraci. Další hodnoty kouřivosti jsou zaznamenávány v zátěži na válcové zkušebně, kde je také zaznamenáván výkon na kole vozidla při každém měření.

Při porovnání hodnot kouřivosti volné akcelerace vozidla s DPF a bez DPF je patrné, že kouřivost vozidla bez DPF je více jak trojnásobná. Při zatížení vozidla se kouřivost mírně zvýšila u obou měřených vozidel, ale přesto zůstává kouřivost vozidla s DPF

několikanásobně nižší. U vozidla bez DPF je při tomto měření průměrná hodnota výkon na kole 76,04 kW a u vozidla s DPF 79,06 kW.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,30	0,34	0,25	0,31	0,30	0,30
Výkon na kolech vozidla [kW]	76,18	74,91	76,47	76,59	76,04	76,04

Tab. 19 Kouřivost vozidla se všemi funkčními systémy – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,05	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,08	0,09	0,12	0,14	0,11	0,11
Výkon na kolech vozidla [kW]	77,89	79,28	79,80	79,26	79,06	79,06

Tab. 20 Kouřivost vozidla se všemi funkčními systémy – vozidlo s DPF

4.2 Měření kouřivosti při blokaci sacího traktu

Při tomto měření je simulován stav znečištěného (zaneseného, zalepeného) vzduchového filtru. Vzduchový filtr se při provozu často zanáší nasávaným poletujícím prachem, listím, atp. Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole při měření ucpaného sacího traktu pro zážehové motory, tak je třeba vzduchový filtr měnit v předepsaných intervalech.



Obr. 13 Ukázka ucpaného sacího traktu

Při zanesení vzduchového filtru motoru dochází k menšímu průtoku vzduchu. Aby řídicí jednotka mohla sledovat množství nasávaného vzduchu, tak je součástí sacího traktu snímač hmotnosti vzduchu. Tento snímač pomocí dvou teplotních rezistorů měří množství

protékajícího vzduchu. Jelikož je snímač hmotnosti vzduchu zařazen v sacím traktu až za vzduchovým filtrem, tak dojde k zaznamenání sníženého průtoku řídicí jednotkou a ta omezí dávku paliva. Řídicí jednotka nezaznamená snížený průtok jako závadu.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\emptyset_{OK}	$\emptyset_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,17	0,20	0,18	0,20	0,25	0,19
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,55	0,48	0,59	0,48	0,30	0,53
Výkon na kolech vozidla [kW]	57,45	55,93	55,18	54,86	76,04	55,86

Tab. 21 Kouřivost vozidla při ucpáném sacím traktu – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\emptyset_{OK}	$\emptyset_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,01
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,11	0,01
Výkon na kolech vozidla [kW]	29,89	30,76	32,17	33,28	79,06	31,53

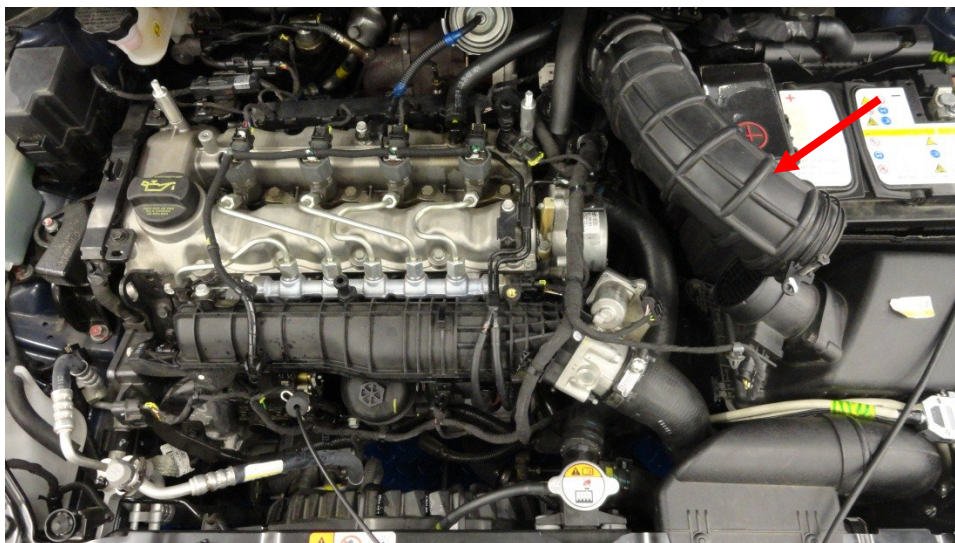
Tab. 22 Kouřivost vozidla při ucpáném sacím traktu – vozidlo s DPF

U vozidla bez filtru pevných částic v tabulce 21 se kouřivost při volné akceleraci mírně snížila o $0,06 \text{ m}^{-1}$. V zatížení ale kouřivost u tohoto vozidla stoupla na téměř dvojnásobnou hodnotu o $0,23 \text{ m}^{-1}$. Na naměřeném výkonu vozidla je patrné, že z důvodu nedostatku nasávaného vzduchu došlo k poklesu výkonu přibližně o 20 kW. U druhého měřeného vozidla s DPF v tabulce 22 se kouřivost snížila jak při volné akceleraci, tak v zátěži na téměř nulovou hodnotu. Pokles naměřeného výkonu na kole vozidla je zde přibližně o 48 kW nižší než u vozidla s průchodným sacím traktem. Ucpání sacího traktu se na kouřivosti projeví pouze v zatížení u vozidla bez DPF. Ve všech ostatních měřeních kouřivost naopak klesla. Množství úbytku výkonu je dáno velikostí omezení sacího traktu. Dle naměřených hodnot lze říci, že u vozidla s DPF došlo při měření k většímu omezení průchodu vzduchu.

4.3 Kouřivost při poruše měření hmotnosti vzduchu

Hmotnost vzduchu je zaznamenávána snímačem hmotnosti vzduchu. V tomto měření je simulována závada na tomto snímači. Pokud začne klesat účinnost snímače (nečistotami, opotřebením, atd.), tak snímač začne zaznamenávat menší množství protékajícího vzduchu, než je skutečné. Řídicí jednotka na tuto skutečnost zareaguje snížením vstřikovaného množství paliva a dojde ke snížení výkonu vozidla. Aby nedošlo k zaznamenání vadného snímače hmotnosti vzduchu, tak snímač zůstal zapojen na vozidle a došlo k odpojení hadice

sacího traktu od tohoto snímače. Tím pádem je nyní na snímači nulový průtok, což ukazuje na silně poškozený snímač hmotnosti vzduchu (viz obr. 14).



Obr. 14 Odpojení hadice sacího traktu za snímačem hmotnosti vzduchu

Při měření došlo k poklesu všech měřených hodnot. Na naměřených hodnotách volné akcelerace je zřejmý pokles kouřivosti u obou měřených vozidel. U vozidla bez DPF se hodnota snížila na pětinu původní hodnoty na $0,05 \text{ m}^{-1}$. U vozidla s DPF hodnota klesla o $0,06 \text{ m}^{-1}$ na $0,01 \text{ m}^{-1}$. Kouřivost v zatížení klesla taktéž u obou vozidel. U vozidla bez DPF se snížila na $0,08 \text{ m}^{-1}$ a u vozidla s DPF na $0,01 \text{ m}^{-1}$. Při měření bylo nejvíce patrné snížení výkonu. Výkon na kolech se snížil u obou vozidel přibližně na $13,5 \text{ kW}$, což znamená, že se výkon snížil o 65 kW . Naměřené hodnoty pro vozidlo bez DPF jsou zaznamenány v tabulce 23. Naměřené hodnoty pro vozidlo s DPF jsou zaznamenány v tabulce 24.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\emptyset_{OK}	$\emptyset_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	0,05
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,07	0,08	0,09	0,09	0,30	0,08
Výkon na kolech vozidla [kW]	13,43	13,65	13,72	13,66	76,04	13,62

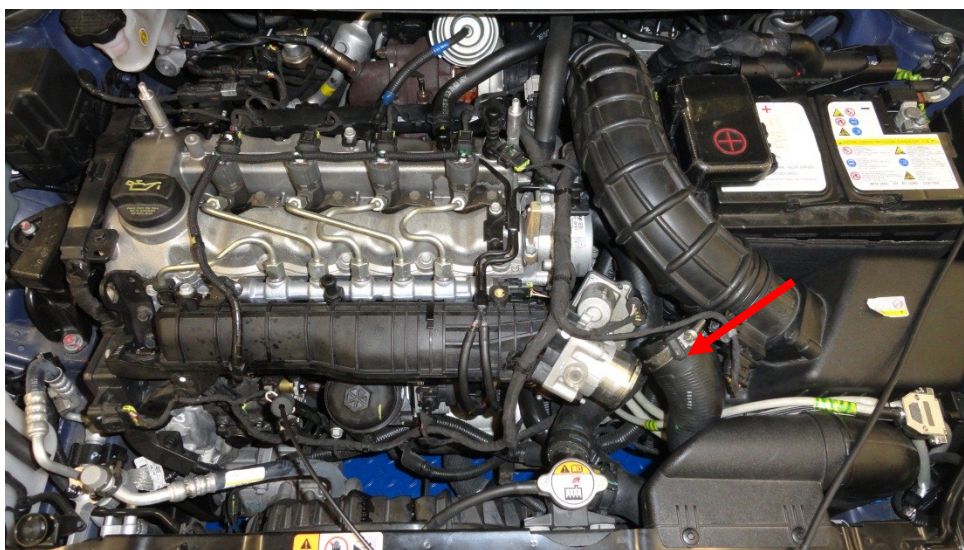
Tab. 23 Kouřivost vozidla při poruše měření hmotnosti vzduchu – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\emptyset_{OK}	$\emptyset_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,02	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,01	0,00	0,01	0,01	0,11	0,01
Výkon na kolech vozidla [kW]	13,26	13,52	13,38	13,54	79,06	13,43

Tab. 24 Kouřivost vozidla při poruše měření hmotnosti vzduchu – vozidlo s DPF

4.4 Kouřivost při netěsnosti na vedení vysokotlakého vzduchu

Toto měření je věnováno závadě na vedení vysokotlakého vzduchu, neboli vedení vzduchu mezi turbodmychadlem a motorem vozidla. Tuto oblast ve většině případů spojuje gumová hadice. Jelikož podléhá namáhání vysokých tlaků od turbodmychadla, olejů od motoru a vysokých teplot, tak často dochází k defektu v této oblasti. Při netěsném vedení dochází k poklesu plnicího tlaku. V extrému poklesne tlak na hodnotu atmosférického tlaku (cca 1 bar). Při simulaci této závady bylo odpojeno toto vedení (viz obr. 15).



Obr. 15 Ukázka odpojení hadice vysokotlakého vzduchu

Jelikož dochází k tvorbě směsi mísením paliva se vzduchem a řídicí jednotka nedostává od snímače hmotnosti vzduchu korektní informaci o množství nasávaného vzduchu, tak dochází ke špatnému poměru paliva se vzduchem. Snímačem hmotnosti vzduchu je zaznamenáno velké množství vzduchu, které nasává turbodmychadlo, ale do motoru je nasáván atmosférický vzduch, jehož množství je daleko menší. Řídicí jednotka z tohoto důvodu dávkuje do spalovacího prostoru velké množství paliva. Toto se projevuje na exhalacích zvýšenou kouřivostí. V tabulce 25 jsou hodnoty kouřivosti pro vozidlo bez filtru pevných částic. Kouřivost se u tohoto vozidla při volné akceleraci desetinasobně zvýšila na hodnotu $2,54 \text{ m}^{-1}$. V zatížení došlo ještě k nárůstu kouřivosti a to téměř na maximální hodnotu $9,99 \text{ m}^{-1}$ při všech měřeních. Výkon vozidla je velice omezen a klesl téměř trojnásobně na hodnotu 26,24 kW. Při měření vozidla s filtrem pevných částic v tabulce 25 se hodnoty kouřivosti otočily a kouřivost při volné akceleraci je nulová ve všech měřeních,

tudíž oproti normálu klesla o $0,07 \text{ m}^{-1}$. V zátěži kouřivost taktéž klesla o téměř stejnou hodnotu na hodnotu $0,03 \text{ m}^{-1}$. Výkon výrazně klesl u obou vozidel na téměř stejnou hodnotu.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	2,46	2,49	2,60	2,60	0,25	2,54
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	9,99	9,99	9,99	9,99	0,30	9,99
Výkon na kolech vozidla [kW]	25,34	26,01	25,82	27,77	76,04	26,24

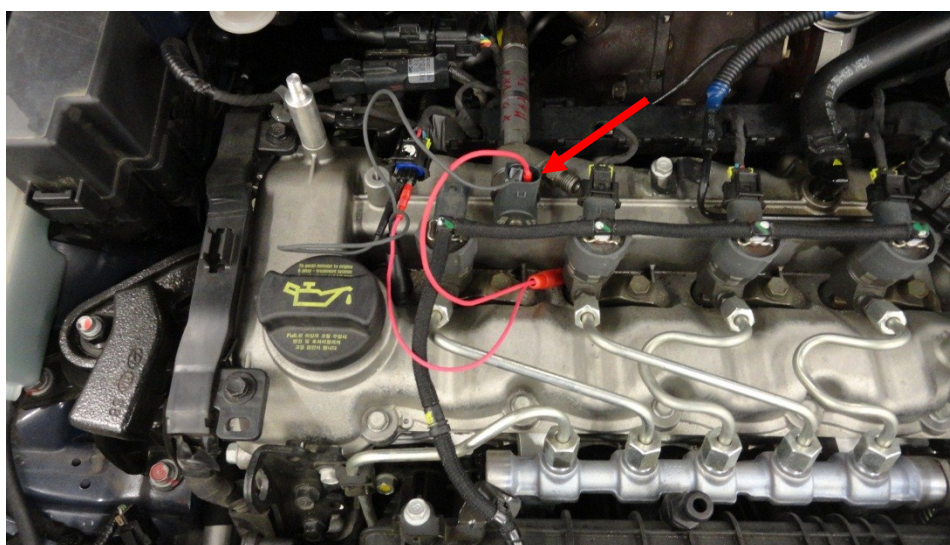
Tab. 25 Kouřivost vozidla při netěsnosti u vedení vysokotlakého vzduchu – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,01	0,03	0,04	0,04	0,11	0,03
Výkon na kolech vozidla [kW]	26,36	25,83	26,07	25,91	79,06	26,04

Tab. 26 Kouřivost vozidla při netěsnosti u vedení vysokotlakého vzduchu – vozidlo s DPF

4.5 Kouřivost vozidla při nefunkčním vstřikovači

V tomto měření je simulován nefunkční vstřikovač prvního válce. U moderních vznětových motorů se často stává, že se vstřikovač mechanicky zasekne a nedává žádnou dávku paliva. U moderních vstřikovacích systému je také možná elektrická disfunkce vstřikovače, kdy je na vstřikovači vadná cívka a vstřikovač tak nereaguje na elektrické impulzy od řídicí jednotky. Měření je prováděno s odpojeným konektorem prvního vstřikovače. Aby nedošlo k zapsání chyby do řídicí jednotky, tak je k odpojené kabeláži připojen náhradní vstřikovač (viz obr. 16).



Obr. 16 Ukázka připojení náhradního vstřikovače

Při nefunkčním jednom vstřikovači pracuje motor na tři zbylé válce. Aby byl motor provozuschopný, tak dojde k úpravě vstřikovaného množství na ostatních funkčních vstřikovačích. Při měření kouřivosti u volné akcelerace se u vozidla bez DPF kouřivost mírně zvýšila o $0,11 \text{ m}^{-1}$. Naopak u vozidla s DPF kouřivost u tohoto měření klesla na nulovou hodnotu, tudíž se snížila o $0,07 \text{ m}^{-1}$. Při měření v zatížení je situace podobná. U vozidla bez DPF došlo k nárůstu kouřivosti stejně jako při volné akceleraci o $0,11 \text{ m}^{-1}$ a u vozidla s DPF se hodnota kouřivosti snížila o $0,08 \text{ m}^{-1}$. Výkon na kolech vozidla klesl u obou měřených vozidel přibližně na 52 kW. Podle naměřených hodnot se dá říct, že při vadném vstřikovači na jednom válci motoru je kouřivost vyšší u vozidla bez DPF. Na kouřivost vozidla s DPF nemá závada negativní vliv.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,33	0,42	0,26	0,21	0,25	0,36
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,40	0,38	0,42	0,42	0,30	0,41
Výkon na kolech vozidla [kW]	51,45	51,65	51,56	51,68	76,04	51,59

Tab. 27 Kouřivost vozidla při nefunkčním vstřikovači – vozidlo bez DPF

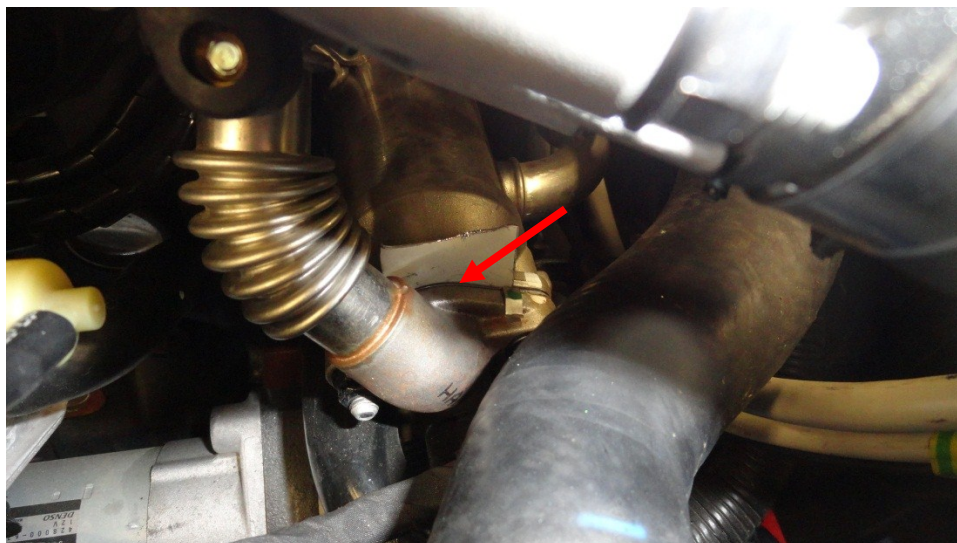
Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,01	0,02	0,02	0,03	0,11	0,03
Výkon na kolech vozidla [kW]	52,58	52,81	52,70	53,16	79,06	52,81

Tab. 28 Kouřivost vozidla při nefunkčním vstřikovači – vozidlo s DPF

4.6 Kouřivost při mechanicky zaslepeném EGR ventilu

V tomto měření je provedeno mechanické zaslepení EGR ventilu. Tento ventil slouží pro zpětné vedení spalin zpět do sání vozidla z důvodu snížení emisí. U vznětových motorů je zpět přiváděno zpět do sání až 50% spalin. Při správné funkci se EGR ventil většinou otevírá až u zahřátého motoru, ale zůstává zavřený při plném výkonu a volnoběhu. V praxi si mnoho řidičů myslí, že tento ventil je ve vozidle zbytečný a na emise nemá žádný vliv a nebo na emise neberou ohled. EGR ventil často zaslepují takzvaní „tunningaři“ z důvodu nepatrného zvýšení výkonu. Dále je tento ventil často zaslepován z důvodu ušetření financí za nový EGR ventil při jeho špatné funkci např. zaseknutí v otevřené poloze. Mechanické zaslepení není ve většině případů rozeznáno řídicí jednotkou a tudíž nedochází ani k zapsání chybového hlášení do řídicí jednotky. V našem případě je zaslepení provedeno pomocí

vystříženého plechu o tloušťce jeden milimetr, který je následně vložen mezi EGR ventil a sání motoru (viz obr. 17).



Obr. 17 Mechanické zaslepení EGR ventilu

U vozidla bez DPF se při volné akceleraci kouřivost téměř nezměnila. Průměrná hodnota tohoto měření je $0,26 \text{ m}^{-1}$. Naopak na vozidle s DPF došlo k poklesu kouřivosti na nulovou hodnotu. Při měření kouřivosti v zatížení se hodnota u vozidla bez DPF zvýšila více jak dvojnásobně na $0,71 \text{ m}^{-1}$. U vozidla bez DPF došlo opět k poklesu kouřivosti na $0,04 \text{ m}^{-1}$, tudíž se kouřivost snížila o $0,07 \text{ m}^{-1}$. Naměřené výkony jsou u obou měřených vozidel téměř stejné jako při funkčních systémech. Naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulce 29 pro vozidlo bez DPF a 30 pro vozidlo s DPF.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,27	0,27	0,26	0,23	0,25	0,26
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,74	0,72	0,68	0,71	0,30	0,71
Výkon na kolech vozidla [kW]	77,00	77,68	78,71	78,15	76,04	77,89

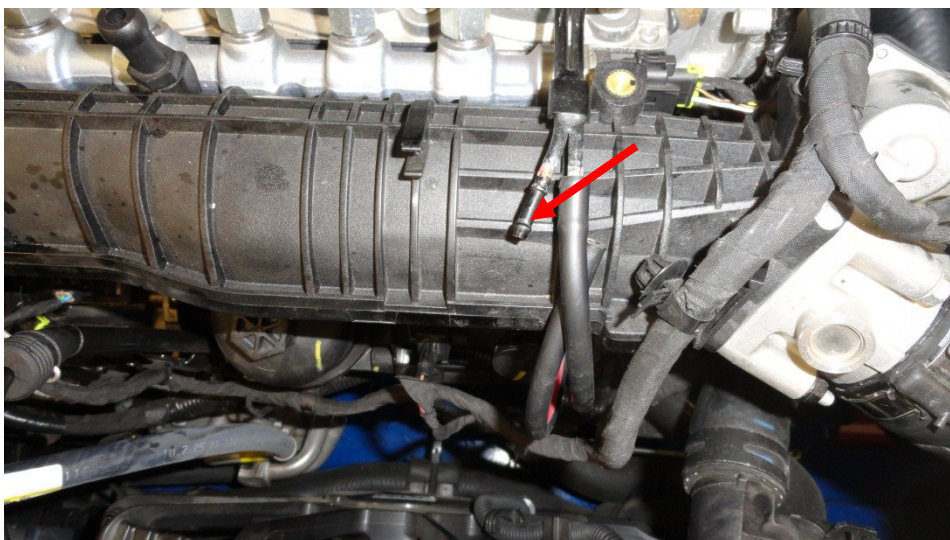
Tab. 29 Kouřivost vozidla při mechanicky zaslepeném EGR ventilu – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,02	0,03	0,04	0,05	0,11	0,04
Výkon na kolech vozidla [kW]	77,85	79,24	78,10	78,91	79,06	78,53

Tab.30 Kouřivost vozidla při mechanicky zaslepeném EGR ventilu – vozidlo s DPF

4.7 Kouřivost při minimálním plnicím tlaku turbodmychadla

Na měřených vozidlech je přepínaný motor s turbodmychadlem s proměnnou geometrií. Geometrie turbodmychadla je ovládána pomocí podtlaku. Pokud je podtlak maximální, tak je plnicí tlak taktéž maximální. Naopak pokud na turbodmychadle není žádný podtlak, tak je plnicí tlak minimální. Toto měření je zaměřeno na kouřivost při minimálním plnicím tlaku turbodmychadla. Tento problém může u měřených vozidel nastat nejčastěji v případě prasklé, nebo jinak zdeformované ovládací podtlakové hadice, popřípadě při závadách přímo na turbodmychadlu jako např. přidřené ovládání regulace. Při měření byla odpojena ovládací podtlaková hadice, aby nedocházelo k řízení turbodmychadla a zůstal tak na turbodmychadle minimální plnicí tlak viz obrázek 19. Řídicí jednotka tento problém nezaznamenala a nedošlo tak zapsání chybového hlášení do paměti závad vozidla.



Obr. 19 Ukázka odpojení podtlaku ovládání regulace turbodmychadla

Co se týká kouřivosti, tak u vozidla bez DPF se snížila kouřivost při volné akceleraci o $0,04 \text{ m}^{-1}$ a u vozidla bez DPF o $0,05 \text{ m}^{-1}$. Naopak při měření v zátěži se kouřivost více jak dvojnásobně zvýšila u vozidla bez DPF na hodnotu $0,72 \text{ m}^{-1}$. Se systémem DPF došlo k pohlcení částic a kouřivost šla dolů $0,05 \text{ m}^{-1}$. V porovnání vozidla s/bez DPF je při použití systému DPF kouřivost při volné akceleraci a v zatížení více jak desetinásobně nižší. U obou měřených vozidel poklesl výkon na kolech a to u vozidla bez DPF o 13 kW a u vozidla s DPF o necelých 22 kW. Naměřené hodnoty pro vozidla bez DPF jsou v tabulce 31 a pro vozidlo s DPF v tabulce 32.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,19	0,23	0,21	0,20	0,25	0,21
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,79	0,69	0,68	0,73	0,30	0,72
Výkon na kolech vozidla [kW]	62,8	63,78	62,48	65,71	76,04	63,69

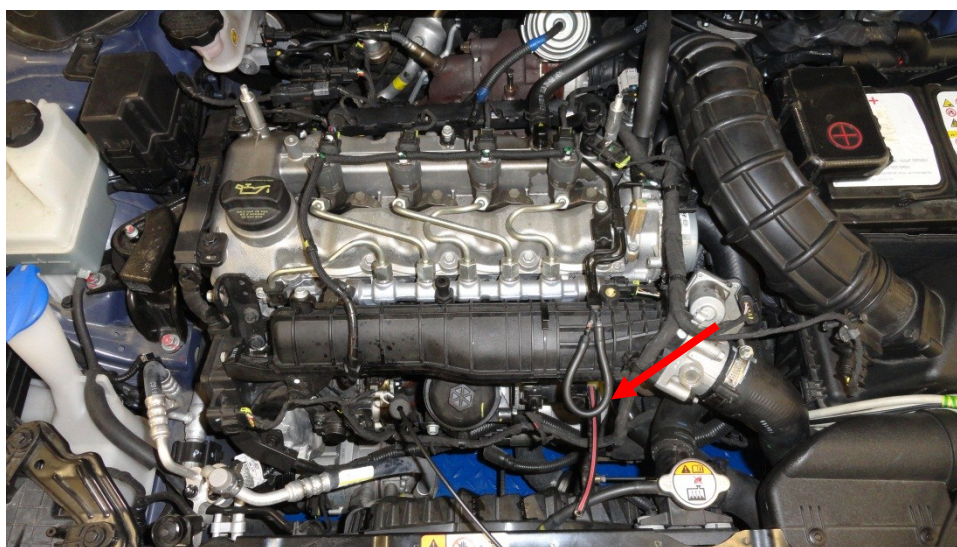
Tab.31 Kouřivost vozidla při minimálním plnicím tlaku turbodmychadla – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\varnothing_{OK}	$\varnothing_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,02
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,06
Výkon na kolech vozidla [kW]	56,68	56,75	57,14	58,16	79,06	57,18

Tab. 32 Kouřivost vozidla při minimálním plnicím tlaku turbodmychadla – vozidlo s DPF

4.8 Kouřivost při maximálním plnicím tlaku turbodmychadla

Při tomto měření je stejně jako v předchozím případě simulována závada na turbodmychadle. Tentokrát není geometrie turbodmychadla nastavena na minimální plnicí tlak jako v předchozím případě, ale na maximální. K této závadě může běžně u vozidla dojít mechanickým poškozením turbodmychadla jako např. přidřením regulace v poloze maximálního plnicího tlaku. Jelikož je na měřených vozidlech turbodmychadlo ovládáno podtlakovou regulací, tak je potřeba pro dosažení maximálního plnicího tlaku přivést na turbodmychadlo maximální podtlak, tak jak již bylo zmíněno v předchozím měření. Na obrázku 20 je zobrazeno propojení přívodu podtlaku vozidla s ovládáním turbodmychadla. Při měření nedošlo k zaznamenání chybového stavu řídicí jednotkou a tudíž ani zaznamenání do paměti závad.



Obr. 20 Ukázka úpravy regulace turbodmychadla

Při měření kouřivosti se nejvíce závada na regulaci turbodmychadla projevila u vozidla bez DPF a to při volné akceleraci. Kouřivost při tomto měření vzrostla téměř šestinásobně na $1,44 \text{ m}^{-1}$. U vozidla s DPF naopak došlo k poklesu kouřivosti na nulovou hodnotu. V zatížení na válcové zkušebně již není změna kouřivosti tak patrná. U vozidla bez DPF kouřivost vzrostla o $0,17 \text{ m}^{-1}$ na hodnotu $0,47 \text{ m}^{-1}$ a u vozidla s DPF opět kouřivost klesla o $0,04 \text{ m}^{-1}$ na $0,07 \text{ m}^{-1}$. Výkon na kolech poklesl na válcové zkušebně u obou měřených vozidel přibližně o 24 kW. Dle naměřených hodnot se dá říct, že závada nemá na kouřivost vozidla s DPF negativní vliv, ale zřejmě bude docházet k častějšímu zanášení filtru pevných částic.

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\emptyset_{OK}	$\emptyset_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	1,35	1,25	1,50	1,67	0,25	1,44
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,34	0,50	0,49	0,55	0,30	0,47
Výkon na kolech vozidla [kW]	55,86	54,54	50,30	52,93	76,04	53,41

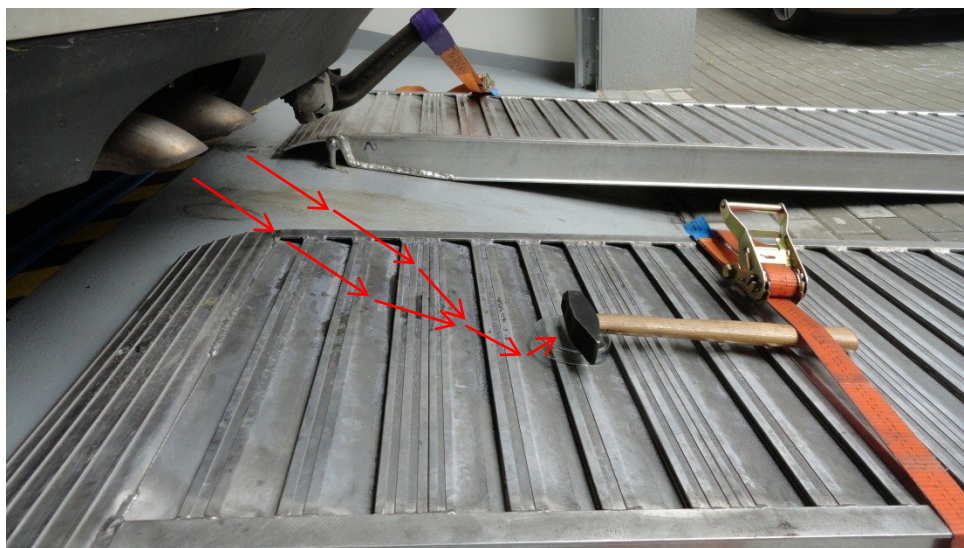
Tab. 33 Kouřivost vozidla při maximálním tlaku turbodmychadla – vozidlo bez DPF

Parametr	Měření číslo				Průměrná hodnota	
	1.	2.	3.	4.	\emptyset_{OK}	$\emptyset_{MĚŘENÍ}$
Kouřivost volné akcelerace [m^{-1}]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Kouřivost v zatížení [m^{-1}]	0,06	0,06	0,07	0,09	0,11	0,07
Výkon na kolech vozidla [kW]	60,11	54,28	53,10	52,36	79,06	54,96

Tab. 34 Kouřivost vozidla při maximálním tlaku turbodmychadla – vozidlo s DPF

5 Pokročilá emisní analýza vznětových motorů

Tato kapitola je zaměřená pouze na vznětové motory a to konkrétně na bližší analýzu pevných částic exhalací. Přístroje pro měření kouřivosti vznětových vozidel (opacimetry) vyhodnocují opacitu exhalací, neboli propustnost světla přes zakouřenou komoru o přesně definované délce, ale již se nezabývají velikosti pevných částic. Nové vozidla se vznětovým motorem jsou vybavené filtry pevných částic (DPF), které mají zachytit částice sazí. Z výfukového systému se ale tím pádem dostávají částice o menších rozměrech, které filtr nezachytí. Pro měření jsou zvolená vozidla jak s DPF, tak bez DPF od různých výrobců vozidel. Pro měření s/bez DPF jsou vybrané dvojice vozidel Hyundai i30 1,6 CRDi, dále dvojice Audi A6 3,0 TDI a Škoda Octavia II 2,0 TDI 103 kW s DPF. Pro ukázkou starších systému vstřikování bez DPF jsou vybraná vozidla Audi A6 2,5 TDI s rotačním vstřikovacím čerpadlem Bosch VP a BMW 320d se vstřikovacím systémem Common-Rail.



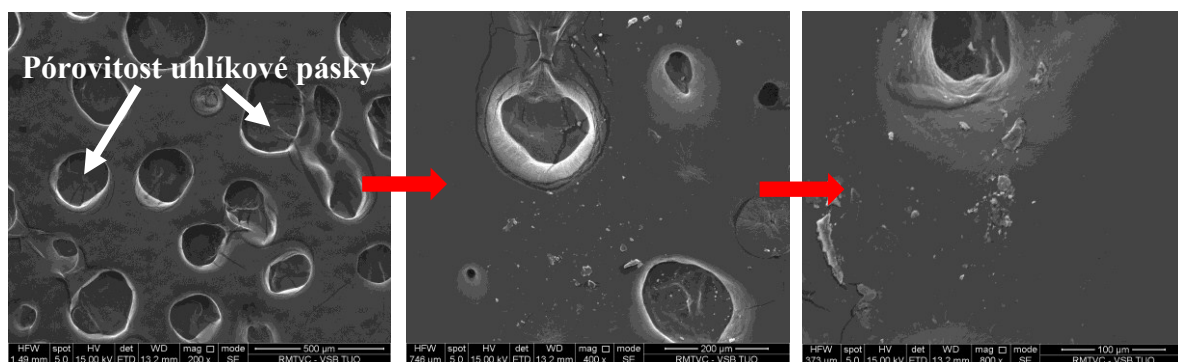
Obr. 21 Ukázka sběru vzorků pro analýzu

Při odebírání vzorků z vozidel, jsou vozidla ustavena na dynamické válcové zkušebně. Měření je provedeno v režimu simulace jízdy při konstantní rychlosti, v našem případě dynamometr udržuje rychlost vozidla 50 km/h při variabilním zatěžování. Vozidlo je při měření chlazeno přídavným ventilátorem. U všech měření je vzorek (pevné částice exhalací) zachycen do připravené petriho misky (viz obr. 21). V petriho misce je vytvořen jemný film transparentní „vazelíny“ na které se pevné částice lépe usazují. Petriho miska je při zachycování částic otočená dnem vzhůru a v přední části je malý otvor pro vstup částic.



Obr. 22 Skenovací elektronový mikroskop Quanta 450 [3]

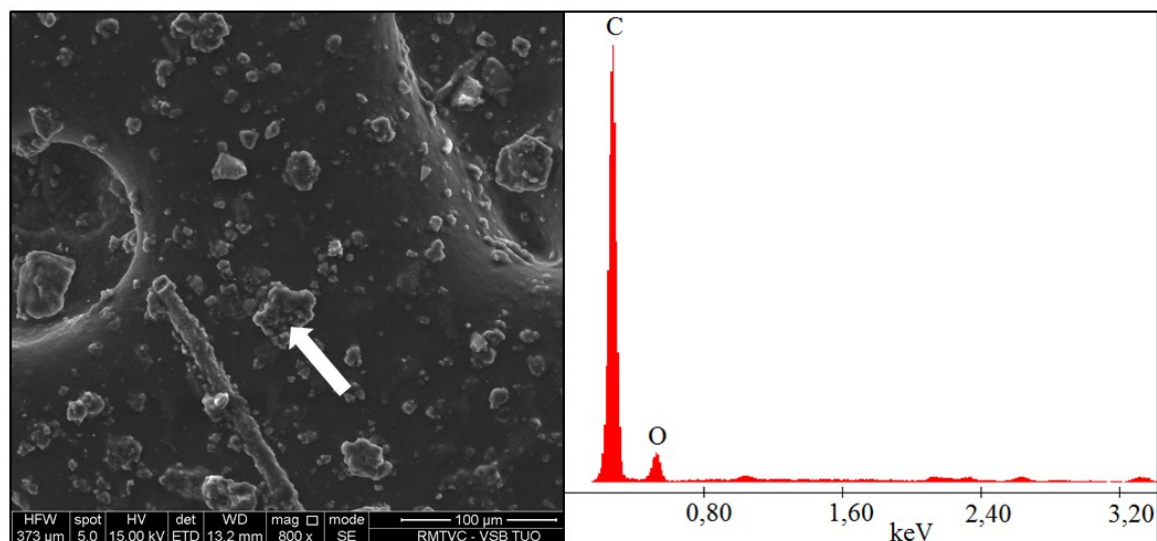
Po odebrání vzorků se velikost pevných částic zkoumá pomocí skenovacího elektronového mikroskopu typu Quanta 450 značky FEI. Na mikroskopu je nastaven režim sekundárních elektronů, který vytváří morfologii povrchu. Pro zkoumání vzorků je důležitá jeho předchozí příprava. Vzorek se z petriho misky odebírá pomocí terčíku na kterém je nalepena uhlíková páska. Poté je potřeba na povrchu odebraného vzorku vytvořit pokovanou vrstvu. Pokud máme takto připravený vzorek, tak je možné tento vzorek vložit do skenovacího elektronového mikroskopu a provést samotný rozbor.



Obr. 23 A/ Zvětšení vzorku 200x, B/ Zvětšení vzorku 400x, C/ Zvětšení vzorku 800x

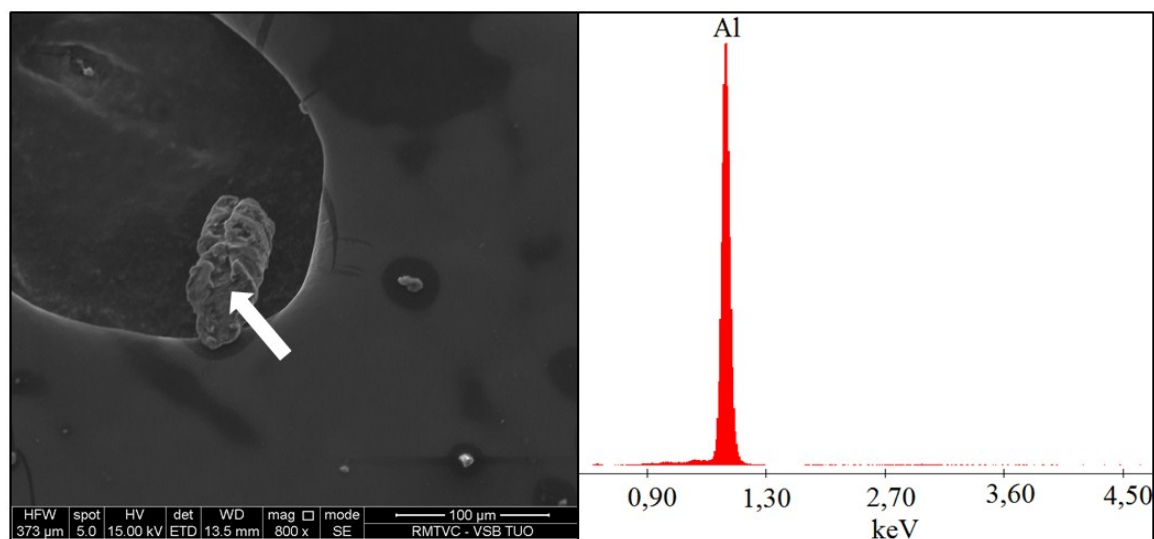
Na obrázku 23 A, B a C vidíme postupné zvětšování vzorku. U obrázku 23 A, kdy je vzorek zvětšen 200x nejsou viditelné žádné částice, ale pouze nerovnosti uhlíkové pásky. Na obrázku 23 B a C, kde je zvětšení 400x a 800x jsou již viditelné mikro částice. Pokud mají částice stejnou barvu, tak se jedná o částice se stejným protonovým číslem, tudíž o stejné částice. Popisek pod každým obrázkem značí nastavení daného měření jako urychlovací

napětí (HV), zvolený typ detektoru (det), vzdálenost vzorku od detektoru (WD), zvětšení (mag), zvolený mód (mode) a měřítko dle nastaveného zvětšení.



Obr. 24 A/ Ukázka částic sazí – zvětšení 800x, B/ Složení označené částice

Na obrázku 24 a 25 jsou zobrazené dva rozdílné vzorky. První vzorek je z vozidla Audi 2,5 TDI, které neobsahuje DPF a druhý vzorek je z vozidla Audi 3,0 TDI s DPF. U prvního vzorku je viditelné velké množství sazí o různých rozměrech od 1 μm až po 30 μm. Že se jedná skutečně o saze a ne o kontaminaci z okolí je viditelné na obr. 24 B, kde je ukázka složení vybrané částice. U druhého vzorku je na první pohled zřejmý úbytek pevných částic. Většina pevných částic, které se vyskytují na vzorku, pochází zřejmě z kontaminace. Aby bylo možné toto tvrzení potvrdit, tak je proveden rozbor dané částice (viz obr. 25 B). V tomto případě se jedná o hliník.



Obr. 25 A/ Ukázka částice hliníku – zvětšení 800x, B/ Složení označené částice

Číslo měření	Použitý systém	Typ vozidla	Rozměr částic uhlíku	Rozměr ostatních částic	Poznámky
1.	bez DPF	BMW řada 3 2,0 d	100 nm	---	- velké množství částic, zejména velkých shluků - velikost a charakter stejný jako u 7 a 9 - nejmenší částice o rozměru 100 nm
2.	bez DPF	BMW řada 3 2,0 d	100 nm	---	- jediný vzorek bez vazelíny - shluky menších částic vytvářející povlak - horší rozlišitelnost malých částic
3.	bez DPF	Hyundai i30 1,6 CRDi	1 000 nm	---	- krátké měření na vozidle - velké množství malých částic - obtížně rozlišitelné
4.	bez DPF	Hyundai i30 1,6 CRDi	1 000 nm	---	- dlouhé měření na vozidle - velké množství malých částic - obtížně rozlišitelné
5.	s DPF	Hyundai i30 1,6 CRDi	10 000 nm až 30 000 nm	10 000 nm	- shluky menších částic tvořící souvislé vrstvy
6.	s DPF	Hyundai i30 1,6 CRDi	30 000 nm	10 000 nm	- dlouhé měření na vozidle - shluky menších částic ve vrstvách - více částic než u vzorku 5
7.	bez DPF	Audi A6 2,5 TDI	100 nm	---	- shluky velkých částic s malými částicemi - velikost a charakter se vzorkem 1 a 9
8.	s DPF	Audi A6 3,0 TDI	---	30 000 nm	- velmi málo částic
9.	bez DPF	Audi A6 3,0 TDI	100 nm	---	- shluky velkých částic s malými částicemi - velikost a charakter se vzorkem 1 a 7
10.	s DPF	Škoda Octavia 2,0 TDI PD	---	30 000 nm	- téměř žádné částice (vyskytující částice mohou pocházet z kontaminace)

Tab. 35 Přehled měřených vzorků a jejich vyhodnocení

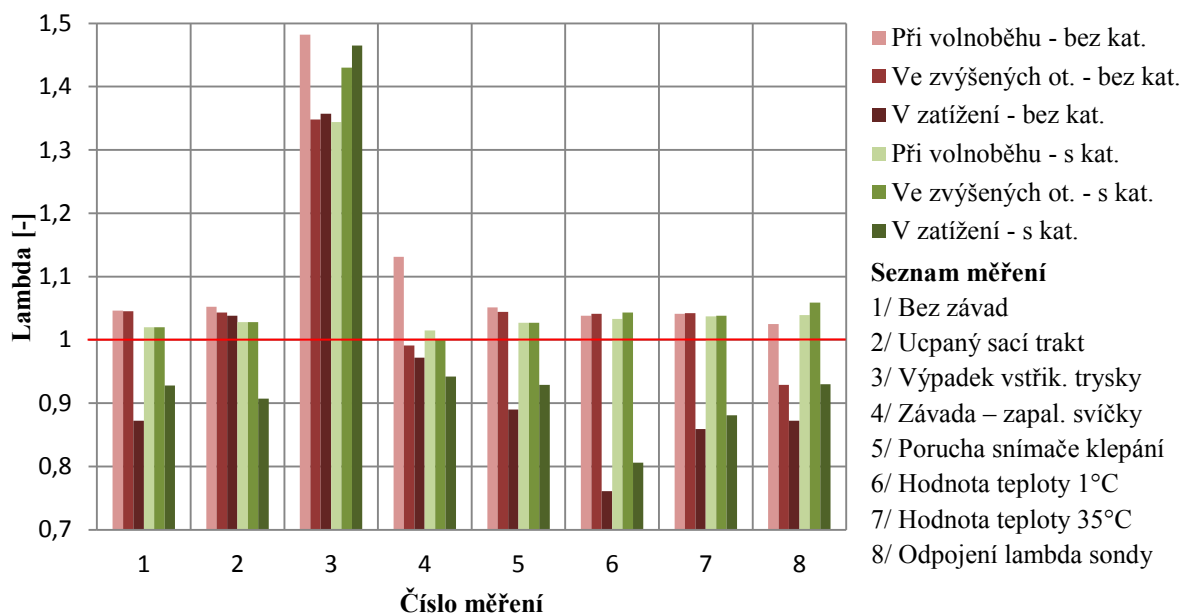
Pro pokročilou emisní analýzu byly vytvořeny vzorky z deseti různých měření (viz tabulka 35). Nejprve byly vytvořeny dva zkušební vzorky 1 a 2. U prvního vzorku byla petriho miska opatřená před samotným měřením jemnou vrstvou „vazelíny“ a u druhého vzorku byla miska prázdná. Po analýze těchto vzorků bylo zjištěno, že se částice na vzorek jedna lépe shromažďují a ostatní vzorky bylo potřeba připravit stejnou metodou. Z analýzy všech vzorků plyne, že u vzorku 1, 2, 7 a 9 se velikost pevných částic sazí pohybuje okolo 100 nm. U všech těchto vzorků není vozidlo opatřeno systémem DPF. Tyto vzorky bylo možné nejlépe doostřit pro analýzu. U vzorků 3 a 4, které byly z vozidla Hyundai i30 1,6 CRDi bez DPF byly velikosti pevných částic desetinásobně větší a než u všech ostatních měřených vozidel bez DPF a vzorky nešly pod mikroskopem velice dobře zaostřit. Částice vytvářely shluky, kde rozměr byl těžko analyzovatelný. Toto může například způsobit horší rozprašování paliva, nebo spalování směsi. Podobný problém nastal také u vzorku 5

z vozidla Hyundai i30 s DPF kde byly částice příliš velké a neodpovídaly vozidlu s DPF. U ostatních měřených vozidel s DPF na vzorcích 3, 4 a 8 bylo nalezeno množství pevných částic jiných než uhlíku (např. Al, Bi, Se, Fe) o rozměrech 30 000 nm. Pevné částice uhlíku v rozměrech nanometrů nebyly pozorovány. Což znamená, že pravděpodobně nebyly zachyceny zvolenou zachycovací metodou. Pro desátý vzorek, vozidlo Škoda Octavia 2,0 TDI s DPF, platí stejný závěr jako pro vzorek 3, 4 a 8. Jak již bylo zmíněno, zvolená metoda zachycování pevných částic nebyla vhodná pro vozidla s DPF. Pro přesné zaznamenání velikosti pevných částic u těchto vozidel bude potřeba zvolit jiný způsob sběru, protože částice byly příliš malé, působí na ně minimální gravitace a prakticky neustále jsou rozvířeny v prostředí. Aby bylo měření relevantní je potřeba experimentálně vytvořit speciální filtr pro zachycení pevných částic. Při zkoumání pevných částic na skenovacím elektronovém mikroskopu byla získána celá řada materiálů a výsledků jak v režimu sekundárních elektronů, který vytváří morfologii povrchu (zjištění rozměrů), tak v režimu zpětně odražených elektronů, kdy se se změnou barvy mění protonové číslo prvku (zjištění složení). Tyto materiály jsou archivovány vedoucím diplomové práce.

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo ukázat důležitost správně pracujících systému ovlivňující emise vozidla. V první části práce byly podrobně popsány vstupující a vystupující emisní složky exhalací jako např. uhlovodíky, oxid uhelnatý, částice sazí atp. V druhé praktické části práce byly změřeny dvě vozidla se zážehovým motorem s/bez katalyzátoru a dvě vozidla se vznětovým motorem s/bez DPF s nejrůznějšími disfunkcemi motoru. V poslední části práce bylo změřeno deset vzorků pevných částic vznětových motorů a poté byl proveden rozbor pomocí skenovacího elektronového mikroskopu.

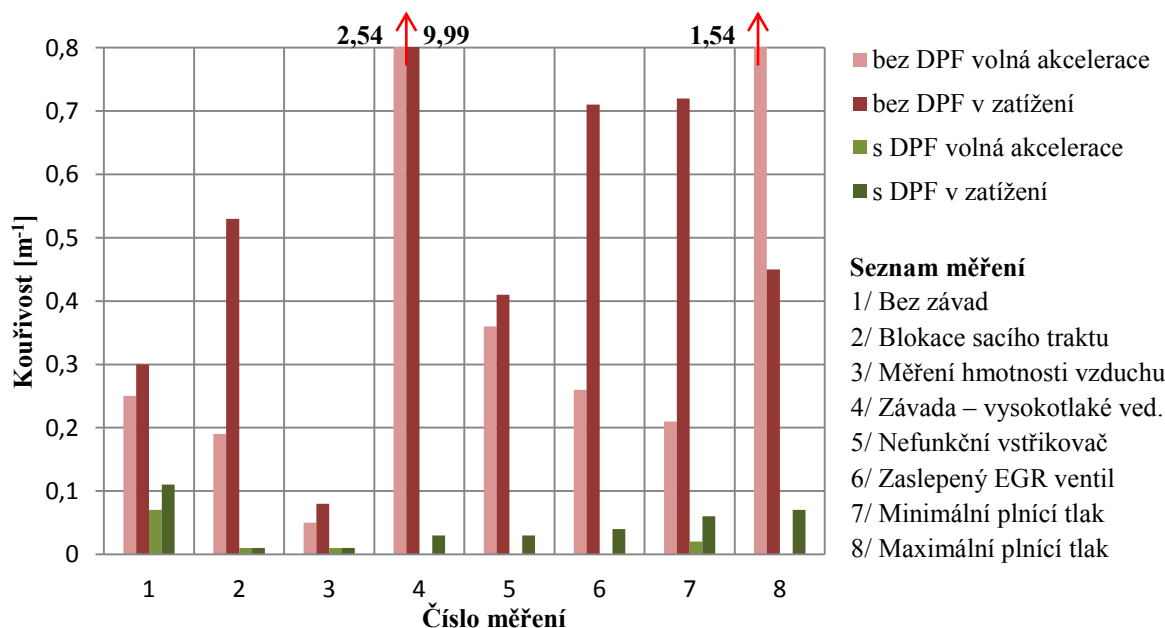
Na naměřených výsledcích zážehového motoru s katalyzátorem a bez katalyzátoru je zřejmé, že při disfunkci katalyzátoru dojde ke značnému zhoršení emisí. Při porovnání naměřených výsledků při nejrůznějších závadách zážehového motoru se exhalace nejvíce zhoršily při měření s nefunkční zapalovací svíčkou a to u vozidla bez katalyzátoru, kde se hodnoty uhlovodíku pohybovali okolo 4 000 ppm a hodnota oxidu uhličitého se snížila téměř na poloviční hodnotu. Nejméně se na emise projevilo odpojení snímače klepání, kdy na naměřených výsledcích došlo téměř k nepatrné změně. Jelikož z důvodu rozsáhlosti a přehlednosti nebylo jednoduché zaznamenat do grafu veškeré naměřené výsledky pro zážehové motory, byly pro lepší názornost zvoleny pro zobrazení vybrané naměřené hodnoty přebytku vzduchu lambda, viz grafu 1. Hodnoty, které jsou větší než jedna, odpovídají chudé směsi. Hodnoty menší než jedna odpovídají chudé směsi. Nejchudší směs



Graf 1 Vyhodnocení výsledků součinitele přebytku vzduchu lambda zážehových motorů

byla naměřena při měření výpadku vstřikovací trysky u vozidla bez katalyzátoru při volnoběžných otáčkách (měření číslo tři). Naopak nejbohatší směs byla naměřena taktéž u vozidla bez katalyzátoru, ale tentokrát v zatížení na válcové zkušebně při poruše snímače chladicí kapaliny, kdy byl snímač nahrazen potenciometrem a jeho náhradní hodnota byla 1°C při zahřátém motoru.

Při měření vznětových motorů se potvrdilo, že u vozidla s DPF jsou pevné částice zachyceny filtrem pevných částic a změřená kouřivost vozidla je tím pádem nižší než u vozidla bez DPF. Vyhodnocení všech měřených kouřivostí je vykresleno v grafu 2. Největší kouřivost byla naměřena u vozidla bez DPF při netěsnosti na vedení vysokotlakého vzduchu, kdy kouřivost při volné akceleraci dosahovala 2,54 m⁻¹ a v zatížení na válcové zkušebně 9,99 m⁻¹. Nejnižší kouřivost pro vozidla s/ bez DPF byla naměřena při poruše měření hmotnosti vzduchu, kdy se pro obě měřené vozidla několikanásobně snížila.



Graf 2 Vyhodnocení kouřivosti vznětových motorů

Při pokročilé emisní analýze bylo zjištěno, že u vozidel bez DPF se velikost pevných částic pohybuje okolo 100 nm. U vozidel s DPF se pevné částice uhlíku v rozměrech nanometrů zachytit nepodařilo, jelikož zvolená metoda zachycování pevných částic není vhodná pro vozidla s DPF. Pro přesné zaznamenání velikosti pevných částic u těchto vozidel je potřeba zvolit jiný způsob zachycování, protože částice jsou příliš malé, působí na ně minimální gravitace a prakticky neustále jsou rozvířeny v prostředí. Pro relevantní měření je potřeba experimentálně vytvořit speciální filtr pro zachycení pevných částic.

U vozidel s DPF je výhodou výrazné snížení kouřivosti vozidla, jelikož jsou pevné částice vycházející z procesu spalování zachycovány filtrem DPF na rozdíl oproti vozidlům bez tohoto filtru. Jemné částice v jednotkách nanometrů, se ale v tomto filtru zachytit nepodaří a tyto částice pronikají dál do okolního prostředí. Tento problém je nejvýraznější v centrech měst a garážích nákupních center, kde kolem jdoucí lidé dýchají tyto částice, které jsou natolik malé, že pravděpodobně již zůstávají v lidském organismu. Jedná se karcinogeny.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, věcné připomínky, rady a vedení při tvorbě této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat doc. Mgr. Janě Kukutschové, Ph.D. a Mgr. Kateřině Dědkové za pomoc při pokročilé emisní analýze.

Seznam použité literatury:

- [1] ŠKODA AUTO A.S. Škoda - *Dílenská učební pomůcka* [online]. [cit. 2014-05-06]. Emise, 43. Dostupné z: <http://manualy.autooo.eu/cs/skoda-manualy/296-skoda-dielenske-ucebne-pomocky>
- [2] SAJDL, Jan. *Emise výfukových plynů* [online]. [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [3] FEI. *FEI: Quanta SEM* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.fei.com/products/sem/quanta-sem/>
- [4] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2002, vii s., s. 299-592. ISBN 80-238-7282-6.
- [5] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2005, v, 251 s. ISBN 80-239-3718-9.
- [6] Autolexicon.net. SAJDL, Jan. *Autolexicon.net* [online]. 2008 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [7] ZOUZALÍK, Marek. Emisní normy Euro – Evropa přitvrzuje!. In: *Katalogautomobilu.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://clanky.katalog-automobilu.cz/1269-emisni-normy-euro-evropa-pritvrzuje/>
- [8] Odstranění DPF. *Odstranění DPF.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.odstranidpf.cz/>
- [9] DPF engineering. *DPF engineering* [online]. 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.dpfe.cz/legislativa>
- [10] PowerTEC. *POWERTEC. Chiptuning* [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.chiptuning.cz/chiptuning/nase-sluzby/problematika-filtru-pevnych-castic>

Seznam příloh:

Příloha [A] - Protokol z měření exhalací zážehového motoru

Příloha [B] - Protokol z měření kouřivosti vznětového motoru

PŘÍLOHA [A] - Protokol z měření exhalací zážehového motoru



VŠB - TU Ostrava
Katedra elektroniky
Anschrift Zeile 3
Anschrift Zeile 4



SME č.:
BW-4-0815

Tel.:

Fax.:

Protokol č.: o měření emisí vozidla se zážehovým motorem

Značka vozidla:	Hyundai	Druh vozidla:	osobní automobil
Typ vozidla:	i30	Kategorie vozidla:	M1
Typ motoru:	1,6i	Registrační značka:	1T18325
Výr.č.motoru:	X	Rok výroby (1.registrace):	2008
Stav poč. ujeté vzdálenosti:	25358 km	Druh paliva:	Benzín
Typ emisního systému:	ŘÍZENÝ S KATALYZÁTOREM	Identif.č.vozidla:	xxx

Provozovatel vozidla (jméno, adresa): Petr Novák
Sleszká 35
74721 Kravaře

MĚŘENÉ PARAMETRY	PŘEDEPSANÉ		NAMĚŘENÉ S PALIVEM		VÝSLEDEK
	min.	max.	ZÁKLADNÍM	/ ALTERNATIVNÍM	
Teplota oleje [°C]	80		84.3		O.K.
PŘI VOLNOBĚHU:					
Otáčky [/min]	600	900	660		O.K.
Obsah CO [%obj]		0.5	0.197		O.K.
Obsah HC [ppm]			335		
Obsah CO2 [%obj]			9.75		
Obsah O2 [%obj]			7.74		
Lambda [-]			1.498		
PŘI ZVÝŠENÝCH OTÁČKÁCH:					
Otáčky [/min]	2500	3000	2760		O.K.
Obsah CO [%obj]		0.3	0.454		n.O.K.
Obsah HC [ppm]			159		
Obsah CO2 [%obj]			10.61		
Obsah O2 [%obj]			6.36		
Lambda [-]	0.97	1.03	1.370		n.O.K.

Použitý analyzátor (výrobce, typ) **BOSCH ESA/BEA 050/Mobil** V 2.30 CZ

Naměřené hodnoty jsou přímým on-line záznamem měření analyzátoru

Poznámky: #

Vozidlo z hlediska měření emisí:	NEVYHOVUJE	Čís. osvědčení o ME:	
Příští měření emisí v termínu do:	10.12.2002	Kontrolní nálepka:	NEPŘIDĚLENA #
Měření emisí provedl:	xxxxxxx	osvědčení ev. číslo:	111111

Datum a čas provedení měření emisí: 10.01.2002 , 04:21

Za správnost:

Razítko

Podpis:

PŘÍLOHA [B] - Protokol z měření kouřivosti vznětového motoru



VŠB - TU Ostrava
Katedra elektroniky
Anschrift Zeile 3
Anschrift Zeile 4



SME č.:
BW-4-0815

Tel.:

Fax.:

Protokol č.:

o měření emisí vozidla se vznětovým motorem

Značka vozidla:	Hyundai	Druh vozidla:	osobní automobil
Typ vozidla:	i30cw - nafta	Kategorie vozidla:	m1
Typ motoru:	www	Registrační značka:	8T93536
Výr.č.motoru:	XXX	Rok výroby (1.registrace):	2011
Stav poč. ujeté vzdálenosti:	10000 km	Druh paliva:	Nafta
Typ emisního systému:	řízený	Identif.č.vozidla:	xxx

Provozovatel vozidla (jméno, adresa): Kamil Novotný
Náměstí 36
74721 Kravaře

KONTROLA:

VÝSLEDEK VIZUÁLNÍ KONTROLY:

O.K. #

VÝSLEDEK KONTROLY ZÁVAD ŘÍDICÍ JEDNOTKOU:

VÝSLEDEK KONTROLY TĚSNOSTI PLYNOVÉHO ZAŘÍZENÍ:

MĚŘENÉ PARAMETRY		PŘEDEPSANÉ		NAMĚŘENÉ	VOL.AKCELERACE				VÝSLEDEK
		HODNOTY			HODNOTY				
		min.	max.						
Teplota oleje	[°C]	80.0		80.1	1.	2.	3.	4.	O.K.
Volnoběžné otáčky	[1/min]	600	900	780	780	780	780	780	O.K.
Maximální otáčky	[1/min]	3000	6000	5091	5120	5120	5120	5120	O.K.
Kouřivost	[1/m]				0.06	0.06	0.07	0.07	
Doba zrychlení	[s]				1.28	1.28	1.25	1.24	
Korigovaný součinitel absorbce (ze štítku)						[1/m]		2	
Hodnota kouřivosti				-dovolená	[1/m]		2.50		O.K.
				-naměřená	[1/m]		0.07		
Rozpětí hodnot kouřivosti čtyř po sobě jdoucích měření				-dovolené	[1/m]		0.25		O.K.
				-naměřené	[1/m]		0.01		
Použitý opacimetr (výrobce, typ)				BOSCH ESA/RTM 430				V 2.30 CZ	
Naměřené hodnoty jsou přímým on-line záznamem měření kouřoměru									
Poznámky:		#							

Vozidlo z hlediska měření emisí: **VYHOVUJE**
Příští měření emisí v termínu do: 10.01.2016
Měření emisí provedl: xxxxxxxx

Čís. osvědčení o ME:
Kontrolní nálepka: **PŘIDĚLENA #**
osvědčení ev. číslo: 111112

Datum a čas provedení měření emisí: 10.04.2014 11:54

Za správnost:

Razítko

Podpis: